This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

HX HEH1 D

Sci 1480.216

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SCIENCE CENTER LIBRARY

REVUE

DES APPLICATIONS

DE L'ÉLECTRICITÉ

PARIS — IMPRIMERIE DE J. CLAYE

RUE SAINT-BENOIT, 7

REVUE

DES APPLICATIONS

DE L'ÉLECTRICITÉ

EN

1857 ET 1858

PAR

LE Vte TH. DU MONCEL

PARIS

L. HACHETTE ET Cie
14, RUE PIERRE-SARRAZIN

MALLET-BACHELIER
QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55

1859

Sci 1480.216

HARVARD COLLEGE
JUN 13 1939
LIBRARY

Delgrand fund

REVUE

DES

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

EN 1857 ET 1858.

Deux années ne se sont pas encore écoulées depuis la publication du troisième volume de mon exposé des applications de l'électricité, et je me trouve conduit à ajouter à cet ouvrage, non plus un simple supplément d'appendices, comme je le croyais dans l'origine, mais bien un volume entier. On dirait que chaque année les découvertes, dans cette partie si intéressante de la physique, se succèdent en suivant une progression croissante, dont la raison est de plus en plus élevée à mesure que l'on croit qu'il ne reste plus rien à découvrir. Sous le rapport technologique, on a déjà pu juger des progrès qui ont été faits par l'ouvrage que j'ai publié, au commencement de l'année 1858, sur le magnétisme et l'électro-magnétisme au point de vue des applications électriques; mais les perfectionnements apportés à ces applications elles-mêmes sont encore bien autrement nombreux, comme on pourra en juger.

Depuis un an plusieurs faits importants ayant rapport à l'électricité se sont accomplis. La commission du prix de

50,000 fr., pour les meilleurs perfectionnements apportés à la pile de Volta et à ses applications, a fait enfin son rapport; la commission établie près le ministère des travaux publics, pour la sécurité des chemins de fer, a fait aussi le sien; enfin la fameuse question de l'indemnité à accorder à M. Morse, pendante depuis sept ans, a été résolue; il est vrai que les décisions qui ont été rendues ne sont guère propres à encourager les véritables inventeurs et les amateurs des applications de l'électricité; mais il ne faut pas s'en étonner, car, généralement, les inventeurs, aussi bien que les savants, ne jouissent pas de leur vivant des bénéfices de leurs découvertes. Bien plus même, bon nombre des belles inventions dont le monde s'honore, ne portent pas même le nom de leur inventeur, témoin les métiers à la Jacquart, qui ont été découverts par Vaucanson; témoin les piles de Daniell, qui ont été inventées par M. Becquerel; témoin les piles de Bunsen, qui ont été combinées par M. Grove; témoin même l'Amérique, qui devrait s'appeler Colombie, ou plutôt du nom du Normand qui la découvrit dans le XIe siècle.

Sans vouloir nous départir de la réserve que nous nous sommes imposée à l'égard des décisions dont nous venons de parler, il nous est impossible, par esprit de justice, de ne pas faire ici quelques observations au sujet de la récompense de 400,000 francs accordée à M. Morse comme récompense nationale. Il nous semble en effet que si les gouvernements d'Europe qui font usage du télégraphe Morse ont cru devoir accorder une indemnité à ce savant pour un perfectionnement, important il est vrai, apporté à la télégraphie électrique, mais secondaire au point de vue de l'invention de la télégraphie elle-même, ils devaient bien une récompense à MM. Steinheil et Wheatstone, qui ont établi les premiers, sur une grande échelle, les télégraphes électriques, qui ont découvert la transmission par le sol, et qui ont pour ainsi dire créé (M. Wheatstone

surtout) l'art de la télégraphie. La France, en particulier, devait beaucoup plus à M. Wheatstone qu'à M. Morse, car, si elle a emprunté à ce dernier le principe de son appareil, M. Wheatstone lui a apporté, dans l'origine, ses propres instruments, l'a mise au courant de tous les secrets de la télégraphie, alors inconnus, et a fait lui-même les premières expériences en grand qui ont décidé l'adoption de la télégraphie électrique chez nous, malgré l'épithète qu'on lui donnait de *sublime utopie*. C'est d'ailleurs M. Wheatstone qui est l'inventeur des relais, sans lesquels le télégraphe Morse aurait été longtemps un mythe. Enfin, c'est lui qui a indiqué comment les électro-aimants devaient être construits pour fonctionner à distance. Qu'est donc, auprès de tant de sublimes inventions, la substitution d'un électro-aimant à un galvanomètre, et d'un tracé au pointé à un tracé à l'encre? On a crié beaucoup contre l'Angleterre de ne pas s'être associée aux autres gouvernements dans cette récompense, mais elle a eu dix fois raison : d'abord, parce qu'elle ne devait rien à M. Morse, n'ayant pas adopté son système; en second lieu, parce qu'elle aurait par cela même décliné les droits de M. Wheatstone, et se serait exposée à ce qu'on dît chez elle, comme on le fait maintenant en France, que M. Morse est le véritable inventeur de la télégraphie électrique : ce qui est complétement faux.

Quant au prix de 50,000 francs, il n'a pas été adjugé. Mais des médailles d'honneur commémoratives ont été accordées à MM. Froment, Ruhmkorff, Duchenne et Middeldorff. Certes, nous ne réclamerons pas contre un pareil choix. Ces quatre noms sont assez connus pour qu'on ne s'étonne pas de les retrouver là où des distinctions doivent être accordées. Mais il nous semble que, puisqu'un rapport devait être fait sur les inventions présentées, il devait contenir, au moins en substance, un exposé de ces inventions et le nom de leurs auteurs. Il n'en a pas toutefois été jugé ainsi; et c'est à peine

si quelques noms (huit en dehors des noms précedents)[1] ont été mis en avant pour représenter le grand mouvement accompli dans la science de l'électricité appliquée depuis cinq ans. Aussi, la plupart des inventeurs demandent encore aujourd'hui quels peuvent être les travaux qui ont été présentés à la commission.

Ce que nous venons de dire peut s'appliquer également et *à fortiori* à la commission établie pour la sécurité des chemins de fer, qui, après cinq années d'examen et après de nombreux résumés faits avec soin et intelligence par M. Guilbaut de Nerville, non-seulement n'a fait connaître que fort peu des systèmes ingénieux qui lui ont été présentés, mais encore a conclu à leur rejet, prétendant qu'il n'y avait pour le moment rien autre chose à faire pour la police des chemins de fer que d'exiger l'exécution ponctuelle des règlements établis.

Ainsi, comme on le voit, l'année 1858 n'a guère été propice aux électriciens; mais ils ne doivent pas pour cela se décourager, car la lumière finit toujours par se faire jour, comme dit le proverbe; et il faut espérer que, quand les applications électriques seront plus répandues, justice sera enfin rendue à ceux qui ont consacré leur intelligence, leurs veilles et même leur fortune aux progrès d'une science si fertile en merveilles. En attendant, je continuerai mon rôle de rapporteur fidèle de tous les progrès qui se font, trop heureux si l'estime de ceux qui s'occupent d'électricité me récompense des efforts que j'aurai tentés pour sauver de l'oubli tant de conceptions intéressantes qui, au lieu d'être encouragées, n'ont été souvent pour leurs auteurs que l'objet de déceptions sans nombre.

En raison du nombre d'inventions que j'aurai à décrire, je diviserai mon livre, comme je l'ai fait pour mon exposé, en

1. Ces noms sont ceux de MM. Douhet, Doat, Lamy, Fonvielle et Grenet, Erckmann, Nicklès et Remak.

huit chapitres, qui se rapporteront aux générateurs d'électricité, aux circuits, aux organes électro-mécaniques, aux instruments d'expérimentation, à la télégraphie électrique, aux appareils pour la sécurité des chemins de fer, à l'horlogerie électrique, aux appareils de précision et d'observation, aux applications industrielles et d'économie domestique, à l'éclairage électrique, aux électro-moteurs, etc., etc.

I

GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AUX PILES DE BUNSEN, DE DANIELL, ETC.

Bien que l'on en soit toujours revenu jusqu'ici aux piles Bunsen, ou plutôt aux piles de Grove, dans la première disposition qui leur avait été donnée, on cherche pourtant encore à les perfectionner, soit au point de vue des liquides excitateurs, soit à celui des éléments métalliques qui entrent dans leur composition, soit enfin à celui de leur disposition pour la charge et la décharge des divers éléments qui composent une batterie. Nous allons passer en revue ces différents perfectionnements, qui n'ont d'ailleurs rien de bien important par eux-mêmes.

Pile de M. Dering. — Afin d'obtenir une réaction plus grande de la part de l'acide azotique des piles de Grove, M. Dering s'est imaginé de lui substituer un mélange d'azotate de potasse et d'acide sulfurique anhydre ou dissous dans une quantité d'eau ne dépassant pas le tiers du mélange.

Par ce moyen, de l'acide azotique à l'état naissant et à un haut degré de concentration se trouve formé et peut provoquer plus énergiquement la désoxydation. On se rappelle que c'est par un procédé analogue qu'on a préparé dans l'origine la poudre-coton à défaut d'acide nitrique concentré.

Comme élément métallique électro-positif, M. Dering emploie soit un cylindre de zinc, renforcé dans son épaisseur vers les parties qui s'usent le plus vite, comme, par exemple, la partie qui correspond au niveau du liquide excitateur, soit de la tournure de fonte de fer dont la polarité se trouve recueillie au moyen d'une spirale de fer ou de plomb. Le liquide excitateur de cet élément n'est alors autre chose que de l'eau salée ou toute autre solution saline capable d'oxyder les métaux précédents; on évite par conséquent, comme on le voit, l'emploi de l'eau acidulée.

M. Dering a cherché aussi à remplacer l'acide nitrique dans lequel plonge l'élément électro-négatif, qui est d'ailleurs toujours du charbon, par une combinaison d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique. Je ne vois pas quels avantages, sous le rapport de l'intensité du courant produit, pourraient résulter de cette substitution.

Pile de MM. Alix et Henry. — MM. Alix et Henry, pour un motif qu'il est facile de deviner, se sont imaginés de supprimer le zinc dans les piles de Bunsen et de le remplacer par de l'aluminium; ils prétendent avoir ainsi un couple sinon d'une grande énergie, du moins d'une grande constance, sans aucune dépense de métal, puisqu'il n'y a plus alors d'oxydation produite. Ils partent de là pour dire que la théorie qu'on a faite jusqu'ici de la pile est fausse, puisqu'on admet que c'est l'oxydation du zinc qui est la cause première du dégagement électrique. On aura déjà compris que les inventeurs en question se sont mépris eux-mêmes sur le phénomène qu'ils ont observé; car, de ce qu'il n'y ait pas oxydation dans la pile en question, il y a toujours

réaction chimique des deux liquides, eau acidulée et acide nitrique, l'un sur l'autre, et les expériences de M. Ed. Becquerel ont démontré que cette réaction entrait pour près d'un cinquième dans la production de l'électricité des piles Bunsen ordinaires. Quelquefois cette réaction s'opère en sens contraire du dégagement électrique produit ; mais, dans les piles de Bunsen, elle se manifeste dans le même sens. C'est donc à cette réaction qu'est dû, dans la pile en question, le dégagement électrique sans oxydation qui a été constaté et qui a été trouvé suffisant pour certaines opérations de galvanoplastie. Nous ferons toutefois observer que, dans de pareilles conditions, une pile ne peut servir pendant longtemps, car l'acide nitrique étant une fois désoxydé doit forcément être remplacé. Il n'y a donc de différence, au point de vue économique, entre ce système de pile et les piles ordinaires, qu'une permutation de dépense.

Pile de M. Bœttger. — Ce système n'est, à proprement parler, qu'une simple modification dans la manière de préparer les éléments Bunsen, qui consiste à charger la pile en dedans et en dehors des vases poreux avec une eau légèrement acidulée par un vingtième ou cinq pour cent d'acide sulfurique. Mais, avant de plonger les cylindres ou parallélipipèdes du charbon dans les vases poreux, on les trempe dans de l'acide nitrique concentré, et on les laisse sécher à l'air pendant douze heures environ. La pile ainsi préparée ne laisse, suivant l'auteur, rien à désirer sous le rapport de l'intensité et de la constance.

Nouveaux perfectionnements apportés aux piles de MM. Jedlick et Csapô. — Nous nous sommes étendu longuement, dans le premier volume de notre *Exposé* (pages 82-86), sur la pile de MM. Jedlick et Csapô, que nous avons considérée comme réalisant le mieux jusqu'à présent le problème de la manipulation prompte et facile des batteries voltaïques. De nombreux perfectionnements ont été dernièrement ap-

portés à cette pile par M. Marçais, dans le but de la rendre plus solide et plus simple dans sa construction. Cette fois, l'auge entière contenant les différents éléments, ainsi que les cloisons de séparation de ces éléments eux-mêmes et les tubes et entonnoirs communiquant aux tuyaux de charge, font tous partie d'un même bloc de substance isolante (soufre, oxyde de fer et amiante) qui se trouve moulé de manière à ce que toutes les parties creuses semblent évidées au sein de la masse elle-même, comme on le voit ci-dessous.

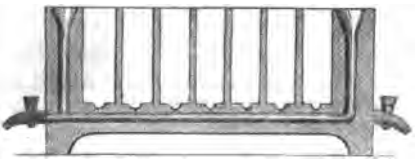


Fig. 1.

Les orifices de communication entre le tuyau de l'acide nitrique et les différents éléments ont aussi été modifiés de manière à obtenir une fermeture plus hermétique. Enfin, telle qu'elle est actuellement établie, cette pile peut être considérée comme éminemment pratique.

Batterie de M. Stoney. — Le système de batterie de M. Stoney a été imaginé dans le même but que celui de MM. Jeldick et Csapô. « Dans ce système, dit M. Stoney, on courbe de gros fils de fer de manière à leur donner la forme suivante qui se rapproche de celle d'un ∽.

Fig. 2.

« Aux points 1 et 2 on soude des plaques de zinc, et en 3 une plaque de platine, et ainsi de suite, avec les autres éléments. On avait craint d'abord qu'il y eût beaucoup de difficulté à sou-

der la plaque de platine dans la courbure 3 du fil; mais cette crainte ne s'est pas réalisée, et en plongeant le fer dans du chlorure de zinc, puis, posant contre lui la plaque de platine, on a trouvé que le fer à souder, avec un petit globule de soudure, opérait une jonction parfaite dans toute l'étendue. Pour prévenir toute chance de contact du point 3 du fil avec les points 1 et 2 de l'élément suivant, on a introduit un petit tube de gutta-percha sur chacun des bouts 3 des fils qui porte la plaque de platine. Quand on assemble les éléments de la batterie, la plaque de platine 3 de chaque élément est simplement insérée entre les plaques 1 et 2 de l'élément suivant et ainsi de suite, et alors chaque élément est parfaitement distinct de l'autre, et peut être introduit ou retiré à volonté; de même, les cellules auxquelles il appartient peuvent être remontées et rechargées en acide ou pour tout autre besoin, suivant l'occasion, et sans toucher en aucune façon aux autres. Quand on veut arrêter le travail, tous ces fils en forme de Ω, avec les plaques de zinc et de platine qui y sont attachées, sont relevés ensemble de leurs auges à l'aide d'un bâti en bois d'acajou dont un des côtés glisse dans une coulisse, de façon que ces côtés soient tout d'abord à une distance suffisante pour traverser tout le système des Ω; l'un des côtés du châssis est alors amené sur une des lignes courbes des fils, et le côté mobile poussé de manière à s'engager sous les courbes du côté opposé; on enlève alors le châssis entier avec toutes les plaques d'un seul coup, et on plonge le tout dans une auge remplie d'eau placée auprès; de cette manière on évite complétement les vapeurs. »

Piles de MM. Bergeat et Ozann. — On trouve dans les journaux scientifiques allemands quelques détails sur des expériences faites il y a peu de temps par MM. Bergeat, de Passau, et Ozann, de Berlin, avec des piles qu'ils regardent comme nouvelles, et qui ne sont pourtant que des répétitions

plus ou moins perfectionnées de celles de MM. Jedlick et Csapô, d'une part, et de MM. Duchenne et Liais, de l'autre.

Ainsi la pile de M. Bergeat n'est autre chose qu'une pile de Bunsen dans laquelle le charbon fait corps avec l'anneau métallique destiné à en recueillir la polarité par suite d'un cuivrage galvano-plastique que ne peut altérer l'acide azotique endosmosé dans les pores du charbon. Ces pores se trouvent, en effet, bouchés avec de la résine fondue, puis avec de la stéarine. Voici quelques détails sur l'opération, que nous empruntons à un article de M. d'Orville, inséré dans *la Science* du 23 juillet 1857 :

. . . . . .

« La résine étant fondue, on la verse dans des bocaux spéciaux, où l'on immerge les cylindres de sept à huit pouces de hauteur. La température de la résine doit être celle de l'ébullition pendant tout le cours de l'opération, afin de prévenir autour du charbon le dépôt de substances étrangères et malpropres. L'immersion du cylindre dans l'acide sulfurique concentré amène la dissolution de ces substances.

« Après une immersion de deux heures, on retire le cylindre, laissant refroidir en même temps la masse liquide, afin d'éviter la formation de nouveaux pores dus à la solidification de la résine ; on débarrasse le cylindre du surplus de la résine, en le grattant légèrement avec un tranchant ; puis on le lave à l'esprit-de-vin, et on le frotte avec du sable fin, de l'eau, puis encore du sable. En recouvrant la partie résineuse du cylindre d'une couche de bougie ou de stéarine, on pourrait fixer à sa partie supérieure le cercle de cuivre muni d'un bouton à vis ; aucune solution de conductibilité ne serait à craindre. Cependant M. Bergeat a préféré recouvrir cette partie résineuse du cylindre d'une légère couche de cuivre, en employant la méthode suivie dans un cas analogue pour les cylindres de métal. On recouvre de caoutchouc les parties qui ne doivent pas être trempées, et on ne galvanise

que la partie à laquelle doit être fixé l'anneau métallique.

« Pour éviter la fusion de la couche résineuse, qui pourrait être causée par la soudure du cercle de cuivre, on emploie un alliage très-fusible composé de 63 parties d'étain et de 37 parties de plomb, et on n'échauffe que la partie qui doit être soudée. L'inventeur recouvre en outre le cercle métallique d'une couche de vernis composé d'une dissolution de gomme laque et d'esprit-de-vin.

« La pile de M. M. Ozann se compose de trois parties.

« Sur une planche horizontale de 1 pied dix pouces de longueur et de six pouces six lignes de largeur, munie de manivelles à chacune de ses extrémités, se trouvent cinq bocaux cylindriques de quatre pouces trois lignes de hauteur et de trois pouces neuf lignes de diamètre, pourvus de cinq cylindres de zinc amalgamés, s'élevant quelquefois au-dessus des bocaux. A l'extrémité de la planche se trouvent fixés, au moyen de chevilles arrêtoires, cinq vases de bois mobiles dans les évidements qui les contiennent; on les remplit de mercure, en les réunissant au moyen d'une bandelette de cuivre au cercle supérieur du zinc. Une seconde planche longitudinale, d'une largeur égale à celle qui contient les bocaux en verre, contient cinq évidements pour des cylindres de charbon de un pouce six lignes de diamètre sur quatre pouces six lignes de hauteur; des anneaux en cuivre, munis de boutons à vis, permettent de fixer fortement les cylindres à la planche; de larges bandes en cuivre battu, recourbées sur ses côtés, permettent de faire communiquer le cylindre avec le mercure lorsque le courant est fermé. Enfin, cinq vases remplis d'acide azotique, aux trois quarts de leur hauteur, sont fixés à une troisième planche d'une longueur identiquement égale à celle des bocaux en verre. On y fait plonger les cylindres de charbon pendant une demi-heure, puis on les place dans les bocaux en verre, qui contiennent le zinc, lesquels sont remplis préalablement du liquide excita-

teur ; en immergeant leur bande de cuivre dans le mercure, la pile se trouve construite d'un seul coup ; le cylindre charbon du premier vase se trouve en effet en communication avec le zinc du second vase : restent une extrémité cuivre du cylindre de charbon qui forme le pôle positif, et une extrémité libre du zinc qui plonge dans le mercure et forme le pôle négatif.

« Le liquide excitateur est un mélange de deux cents parties d'eau, cinq ou dix parties d'acide sulfurique, quatre parties d'acide nitrique, et le liquide dépolarisateur est de l'acide azotique du commerce.

« Dans le but d'augmenter encore l'énergie de cette pile, M. Ozann recuit les cylindres de charbon dans une dissolution bouillante d'eau mêlée d'un peu de carbonate de soude, ce qui, suivant l'auteur, élargit les pores du charbon et leur permet d'absorber une plus grande quantité d'acide. »

Cette disposition de la pile de M. Ozann est exactement celle que j'avais imaginée en 1853, et qui est décrite tout au long dans mon *Exposé*, t. Ier, page 77.

Pile de M. Callaud. — Préoccupé des inconvénients que présentent, dans les piles de Daniell, les vases poreux, qui se couvrent assez promptement, comme on le sait, de dépôts de cuivre plus ou moins abondants, M. Callaud, horloger à Nantes, a cherché à les supprimer entièrement, et pour cela il a mis à contribution la différence de densité qui existe entre l'eau pure ou même chargée de sulfate de zinc et la dissolution de sulfate de cuivre. Chaque élément se compose donc d'un vase rempli de ces deux dissolutions superposées, et ce vase porte à sa partie supérieure et inférieure les deux organes métalliques, zinc et cuivre, destinés à provoquer le dégagement électrique et à recueillir les polarités développées. Ces appendices consistent dans deux cercles d'inégale largeur qui se trouvent maintenus à hauteur voulue, c'est-à-dire au sein du liquide sur lequel il doivent réagir par des

tiges qui passent à travers deux trous dont le vase est muni en haut et en bas. Ces trous, bien entendu, sont soigneusement lutés, et les tiges elles-mêmes se terminent par deux boutons d'attache qui constituent les pôles de la pile, comme on le voit dans la figure 4 ci-dessous.

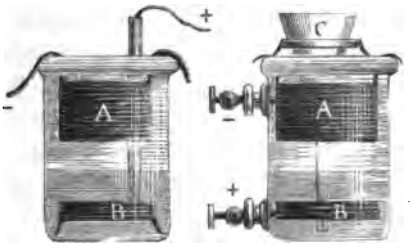


Fig. 3. Fig. 4.

Le cercle le plus large A constitue le cylindre de zinc des piles ordinaires, et le cercle le plus étroit B remplace leur grille de cuivre. Enfin un petit entonnoir ou godet en verre C, soutenu par l'anneau de zinc, établit entre l'extérieur et la dissolution de sulfate de cuivre une communication directe.

Pour charger une pareille pile, on verse le liquide excitateur (eau, eau salée ou eau acidulée) dans le vase jusqu'à moitié, puis on verse avec précaution et lentement la dissolution de sulfate de cuivre préparée d'avance dans le godet C. Si l'opération a été bien faite, les deux liquides doivent se trouver nettement séparés comme de l'huile sur de l'eau; de telle sorte que c'est la surface de séparation de ces deux liquides qui joue le rôle de vase poreux. A mesure que la dissolution de sulfate de cuivre s'appauvrit par suite du dégagement électrique produit, elle se trouve rechargée au moyen de cristaux de sulfate de cuivre placés dans le godet C et qui plongent toujours dans une dissolution de ce sel.

M. Callaud croit que cette suppression du vase poreux

augmente de 30 pour 100 au moins la force de la pile ; mais nous sommes loin de partager son opinion, surtout eu égard aux applications que l'on peut faire de la pile de Daniell. Nous savons, en effet, que, pour obtenir une certaine force de la part d'un électro-aimant, avec des piles ne produisant pas de l'électricité de quantité, comme les piles de Daniell, il faut que l'hélice magnétisante soit composée du plus grand nombre de spires possible. Mais, pour que ces spires agissent avantageusement, il faut que la résistance totale qu'elles présentent ne dépasse pas celle du circuit extérieur augmentée *de la résistance intérieure de la pile*. Par conséquent, si celle-ci a très-peu de résistance intérieure, comme la pile de M. Callaud, à cause de la suppression du vase poreux, la force électro-magnétique qu'elle développe ne peut être considérable, à moins qu'on n'éloigne les deux cercles métalliques d'une distance suffisante pour que la hauteur de la couche liquide interposée représente en résistance celle qui existe entre les parties métalliques des piles Daniell ordinaires, plus la résistance du vase poreux. Or, de pareils éléments seraient beaucoup trop incommodes pour l'usage ordinaire. Ce n'est donc que pour quelques opérations de galvanoplastie que de semblables piles pourraient être employées avantageusement sur les piles de Daniell ordinaires.

Du reste, la forme qu'a donnée à ses piles M. Callaud présente des difficultés d'exécution qui les rendent assez dispendieuses. En effet, des vases percés latéralement de deux trous exigent une fabrication particulière et sont très-difficiles à bien luter quand les appendices de cuivre qui tiennent les cercles métalliques sont placés. On pourrait, ce me semble, supprimer entièrement ces deux trous et faire communiquer le cercle de cuivre à l'extérieur par un gros fil recouvert de gutta-percha qui traverserait les liquides de bas en haut, comme on le voit dans la figure 3. Ces cercles eux-mêmes pourraient être soutenus à hauteur voulue au moyen de cro-

chets et de pieds en fils métalliques qui s'appuieraient sur les bords et au fond des vases.

Pile de M. Bourseul. — M. Bourseul, de même que M. Callaud, a cherché à écarter les inconvénients inhérents aux incrustations des vases poreux dans les piles de Daniell; mais, au lieu de résoudre le problème par la suppression des vases poreux, il arrive à ce résultat par une disposition particulière de la tige qui plonge dans la dissolution de sulfate de cuivre. Je ne sais jusqu'à quel point ce moyen est efficace; mais comme nous n'avons pas fait par nous-même l'expérience, nous nous bornerons à reproduire ici la description qu'en fait le *Cosmos* dans son numéro du 8 mai 1857 :

« Il y a bien longtemps que l'on a signalé comme une objection assez grave contre l'emploi de la pile de Daniell l'incrustation des diaphragmes poreux, vases, sacs de cuir ou de toile, etc. On ne s'était pas rendu compte des causes de cette pénétration du cuivre déposé dans l'intérieur de la pâte ou des tissus, et personne n'avait encore songé à la prévenir. M. Charles Bourseul, chef de station des lignes télégraphiques de l'Ouest, employé plein d'avenir, et dont l'administration centrale peut attendre des services exceptionnels, a étudié cette question délicate dans ses moments de loisir, et il a bien voulu nous transmettre les conclusions très-simples auxquelles il est arrivé.

« Pour trouver la cause de cette incrustation, il suffit de rappeler le principe général des piles : lorsqu'un métal est attaqué par un liquide, ce métal prend l'électricité négative, le liquide prend l'électricité positive. Tout corps plongé alors dans le même liquide, et qui n'est pas attaqué par lui, prend l'électricité positive.

« Dans les piles à courant constant, le vase poreux prend donc l'électricité positive, et il en résulte, pour la pile de Daniell, les inconvénients suivants :

« 1° Le vase poreux étant mauvais conducteur, l'électricité

s'accumule à sa surface et ne circule pas, ce qui constitue une perte, en diminuant l'action utile du courant.

« 2° L'électricité positive du vase attire le cuivre réduit par l'action du courant. Ce cuivre pénètre les pores du diaphragme et en diminue la porosité au point que ce diaphragme est bientôt hors de service. Dans une pile ancienne, on peut voir que le dépôt est incomparablement plus grand au fond du vase poreux que sur les queues de cuivre.

« 3° Dès que commence l'incrustation, le conducteur ainsi interposé dans le diaphragme prend deux pôles et devient le centre d'une action décomposante ; cette action use alors les substances qui forment la pile sans produire d'effet utile. Elle s'oppose, en outre, à ce qu'on ait un courant rigoureusement constant, comme on en a besoin dans les expériences de précision.

« Il est très-facile de remédier à ces inconvénients.

« En mettant un point de la surface intérieure du diaphragme en communication métallique avec le pôle cuivre, on enlève l'électricité positive : et dans un certain rayon autour de ce point l'incrustation ne peut avoir lieu. Le diaphragme étant mauvais conducteur, il faut mettre ainsi un grand nombre de points en communication. On y arrive en mettant dans le vase poreux un petit manchon de cuivre percé à jour, ou plus simplement un fil de cuivre contourné en hélice et terminé inférieurement par une spirale plate qui s'applique au fond.

« En se servant de cette hélice, on remarque que le dépôt de cuivre est beaucoup plus considérable au bas et diminue à mesure que l'on s'élève. De plus, les points où le dépôt se fait le plus facilement protégent mieux le diaphragme, c'est-à-dire qu'au fond ce dernier reste parfaitement blanc, qu'il prend une teinte jaune à mesure que l'on s'élève, et qu'il tend à se cuivrer à la partie supérieure.

« On régularise l'action et l'on empêche complétement

l'incrustation en mettant l'hélice en communication avec le pôle positif, par un point pris au milieu de la hauteur de cette hélice. De cette manière, l'action est sensiblement la même aux deux extrémités.

« On peut remarquer que cette disposition diminue beaucoup la résistance de la pile, le courant n'ayant pas à traverser la quantité de liquide qui sépare d'ordinaire l'intérieur du diaphragme d'avec le pôle positif, mais rencontrant tout de suite ce pôle positif. »

Pile de MM. Fonvielle et Grenet. — Cette pile, dont on a beaucoup exagéré la valeur, est une modification de la pile de M. Poggendorff, dont nous avons parlé page 100 de notre 1er volume. Ses éléments polaires sont le graphite (charbon de cornue) et le zinc taillés en plaques et disposés à peu près comme dans les anciens éléments de Wollaston ; le liquide excitateur consiste dans une dissolution de bichromate de potasse pulvérisé dans de l'acide sulfurique concentré. Au-dessus des auges qui contiennent cette liqueur se trouvent placés des siphons communiquant avec un récipient dans lequel on fait passer un fort courant d'air, soit au moyen d'un soufflet, soit au moyen d'un ventilateur. Ce courant d'air, conduit par les siphons à travers le liquide, augmente considérablement l'énergie du courant, comme l'expérience, du reste, l'avait démontré depuis longtemps. Nous sommes étonnés que le rapport de la commission du prix de 50,000 francs ait fait valoir à l'avantage de MM. Grenet et Fonvielle ce moyen d'action sur la pile, car M. Ed. Becquerel, en 1855, l'avait parfaitement indiqué dans sa pile à mouvement continu que nous avons décrite page 114 (1er volume) de notre *Exposé*. On pourra répondre à cela que, dans la pile de M. Grenet, l'accroissement d'énergie du courant n'est pas dû seulement à la dépolarisation électrique par suite du mouvement du liquide, mais encore à l'action de l'air insufflé qui se trouve mis en contact avec l'hydrogène naissant, et qui

réagit alors comme le fait l'acide azotique dans les piles de Bunsen. Cette opinion est très-contestable; mais, dans tous les cas, l'idée de dépolariser par l'oxygène de l'air n'est pas encore de l'invention de MM. Fonvielle et Grenet, car elle a été émise il y a déjà longtemps et réalisée en partie par M. Pulver-Macher. Quoi qu'il en soit, un fait certain, c'est qu'un mouvement communiqué au liquide d'une pile quelconque, soit directement, soit par le transport de cette pile sur un véhicule en mouvement, augmente considérablement son énergie et sa constance, comme l'a constaté encore dernièrement M. Achard sur les piles de Bunsen lors des essais de son frein électrique sur le chemin de fer de Lyon.

Maintenant, si on raisonne au point de vue industriel, on arrive à conclure que la disposition de MM. Fonvielle et Grenet ne peut présenter d'avantages réels que dans le cas où l'on a à sa disposition un moteur. Or, dans ce cas, ne serait-il pas plus avantageux d'utiliser le moteur à faire marcher une machine magnéto-électrique puissante, comme celle de l'usine à gaz des Invalides, laquelle produirait dès lors de l'électricité sans dépense?

Du reste, si je suis bien renseigné, MM. Fonvielle et Grenet appliqueraient spécialement leur pile à la médecine et à la chirurgie pour les opérations de cautérisation, telles que les pratiquent actuellement MM. Amussat et Middeldorff. Cette pile a en effet une puissance calorifique telle qu'un groupe de trois éléments, disposés comme nous les représentons ci-contre, peut produire les effets d'une pile de 12 ou 15 éléments Bunsen de moyenne grandeur, surtout quand la dissolution de bichromate de potasse est fraîchement faite; il arrive alors en effet que l'action chimique de l'acide sulfurique sur le sel se trouve utilisée au profit du dégagement électrique produit. Du reste, ces effets ne doivent pas surprendre, car tout le monde sait qu'un simple élément de Wollaston, au moment de son immersion dans l'eau acidulée, peut rougir un

fil d'une certaine dimension, et que la pile de Muncke, dans les premiers moments de son action, dégage une quantité d'électricité formidable. D'ailleurs il ne faut pas se méprendre sur les dimensions de la pile en question; bien qu'elle

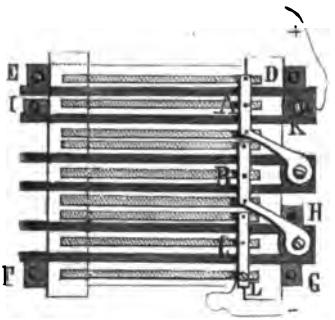


Fig. 5.

ne représente à la vue qu'un cube de 20 centimètres tout au plus, sa surface oxydable de zinc est d'environ 7200 centimètres carrés; ce qui équivaut à un élément dont la plaque de zinc aurait 60 centimètres dans les deux sens. L'appareil est, du reste, assez habilement combiné; les plaques de zinc, réunies trois à trois par des brides de fer-blanc A, B, C, se trouvent séparées dans chaque élément par des lames de charbon qui les dépassent des deux côtés d'environ 3 centimètres, et qui sont également réunies deux à deux à l'une de leurs extrémités. Des bandes de caoutchouc durci séparent ensuite les éléments les uns des autres, et ces éléments se trouvent réunis en tension au moyen des brides A, B, C elles-mêmes, qui se trouvent découpées dans ce but. Le tout est encastré dans un bâti formé par quatre colonnes D, F, E, G de caoutchouc durci montées sur un socle de la même substance, à l'intérieur duquel se trouve le récipient pour l'air insufflé. Ce récipient est, à cet effet, percé de nombreux petits trous qui correspondent aux vides laissés entre les pla-

ques zinc et charbon, et c'est par les tuyaux en caoutchouc durci H et I que l'insufflation se fait. Enfin le dessus de l'appareil est recouvert par une planche munie d'une poignée dans laquelle se trouvent fixées les colonnes du bâti, et à travers laquelle ressortent les deux tiges polaires K et L. C'est cet ensemble, qui est, comme on le voit, très-facilement maniable, qu'on plonge dans le vase où se trouve la dissolution de bichromate de potasse. Une pareille pile coûte environ 75 francs.

Depuis quelque temps on emploie en Russie, avec beaucoup d'avantages, les piles à bichromate de potasse, mais avec la disposition que leur avait donnée M. Poggendorff. Avec ces piles, qui ne sont d'ailleurs que des piles de Bunsen, dans lesquelles l'acide azotique est remplacé par du bichromate dissous dans de l'acide sulfurique, on obtient, assure-t-on, l'électricité à trois fois meilleur marché qu'avec le système ordinaire. M. Konstantincoff, qui s'occupe spécialement de cette question à Saint-Pétersbourg, a fait une remarque assez curieuse : c'est que, si on emploie du platine au lieu du charbon dans les piles précédentes, le dégagement électrique est infiniment moins considérable et la constance de la pile est notablement diminuée.

Pile de M. Selmi. — La pile de M. Selmi, appelée *pile à triple contact,* réalise, suivant son auteur, des avantages tellement étonnants, que, n'ayant pas été à même de les vérifier, nous préférons nous maintenir sur la réserve, en laissant parler l'inventeur lui-même.

« La pile, dans son ensemble, dit M. Selmi, se compose 1° d'un verre ou vase récepteur V; 2° d'un élément positif P formé d'une lame de zinc roulée en cylindre; 3° d'un élément négatif N (formé d'une lame de cuivre roulée en hélice) suspendu et porté par des fils de cuivre terminés à leur extrémité par des crochets qui les mettent en contact avec un cercle métallique auquel communique aussi métalliquement

l'élément positif P plongé par sa partie inférieure dans le liquide excitateur. Par cette disposition, l'élément négatif communique à la fois avec l'élément positif, avec le liquide et avec l'air, ce qui explique pourquoi cette pile est appelée à triple contact. Deux fils de cuivre soudés, l'un E au cuivre, l'autre F au zinc, font fonction de rhéophores. E est le pôle négatif, F le pôle positif. La lame de zinc a 5 ou 6 centimètres de largeur, 6 ou 7 de hauteur. La lame de cuivre a 7 mètres environ de longueur, 1 centimètre et demi de hauteur; les spires, au nombre de 20 ou 25, ne se touchent pas; elles sont, au contraire, séparées par un petit intervalle vide dans lequel le liquide monte par absorption capillaire. Le vase en verre est d'un litre environ de capacité; le liquide excitateur le plus avantageux est une solution concentrée de sulfate de potasse formée avec dix parties en poids de sel dissoutes dans cent parties d'eau. Si l'effet qu'on veut obtenir n'exige qu'un courant à faible tension, comme dans le cas de la télégraphie électrique, on réduit la proportion de sel à 6 ou même à 3 pour 100.

« Lorsque l'élément est en activité, le liquide ou sulfate de potasse est décomposé; l'acide se porte sur le zinc, qui d'abord s'oxyde, puis se transforme partie en sulfate ou sous-sulfate de zinc, partie en carbonate de zinc hydraté. Ces deux sels tombent au fond du vase sous forme de précipité amorphe; la potasse, devenue libre, se porte sur le cuivre. Si la solution est peu concentrée, le travail de la pile se continue pendant plusieurs semaines, à la seule condition d'ajouter de temps en temps un peu d'eau pour suppléer à celle qui s'évapore; si la solution est concentrée, il faut agiter le liquide toutes les vingt-quatre heures, afin que l'alcali libre qui entoure le cuivre fasse précipiter les sels de zinc, et que le liquide recouvre sensiblement sa conductinilité première.

« L'utilité ou mieux la nécessité du contact triple du cuivre avec le zinc, l'eau et l'air, est facilement mise en évidence par

les faits suivants : 1° Si l'on fait plonger entièrement l'élément négatif, l'intensité du courant, mesurée au galvanomètre, diminue dans une proportion énorme ; elle reprend sa valeur primitive lorsque le cuivre plonge en partie dans le liquide, en partie dans l'air. 2° Tant que l'acide ne plonge pas entièrement dans le liquide, il ne dégage pas même une bulle d'hydrogène. 3° Si, lorsque le triple contact est établi, on recouvre le cuivre d'une cloche pleine de gaz oxygène, ce gaz est rapidement absorbé. 4° Si l'on suspend la communication métallique entre le zinc et le cuivre, le liquide est presque complétement inactif, le zinc ne s'oxyde presque plus ; de sorte que quand la pile à triple contact ne fonctionne pas, il n'y a pas consommation de zinc alors même qu'il n'est pas amalgamé.

« La force d'un élément de la nouvelle pile est à très-peu près la même que celle d'un élément Daniell de mêmes dimensions ; elle reste sensiblement constante pendant vingt-cinq ou trente jours seulement si la solution de sulfate de potasse est concentrée ; mais si la solution est plus ou moins faible, l'action se continuera toujours la même pendant un temps beaucoup plus long.

« Le résidus de cette pile peuvent être facilement transformés en blanc de zinc, dont le prix, poids pour poids, est supérieur à celui du zinc consommé ; mais, en admettant qu'on ne veuille pas tirer parti des résidus, la pile à triple contact consommera à peine le *quarantième* de ce que consomment les piles actuelles des télégraphes, dont la dépense annuelle est évaluée à 4 francs par élément. Elle a en outre le très-grand avantage d'un entretien plus facile ou d'exiger moins de soins et de main-d'œuvre. »

Pile de MM. Schlagdenhauffen et Freyss. — Ces savants ayant remarqué que si on amalgame le zinc et l'un des côtés de la lame de cuivre d'un élément de Wollaston, les bulles d'hydrogène se dégagent uniformément sur la surface de

cuivre non amalgamée, ont cherché à mettre à contribution cette propriété pour former un élément de Wollaston d'une grande constance. Cette amalgamation, en effet, rend constante la polarisation des lames, et par cela même augmente la constance du couple. En revanche, son énergie primitive se trouve un peu diminuée.

Pile de M. Palagi. — Les expériences auxquelles a été conduit M. Palagi pour utiliser à la télégraphie les courants telluriques, expériences dont nous aurons occasion de parler bientôt, ont suggéré à ce savant l'idée d'une pile nouvelle qui peut avoir quelques applications utiles quand on n'a pas besoin d'une grande force électrique.

Cette pile se compose uniquement de zincs et de charbons trempés dans de l'eau salée. Mais il faut, pour des raisons que nous expliquerons plus tard, que les charbons soient composés de fragments suspendus les uns à la suite des autres, comme les grains d'un chapelet, par des fils de cuivre; il faut, de plus, que ces fragments ne se touchent pas. Plus la chaîne est longue, plus l'effet électrique est sensible.

Chaque élément se compose donc d'une chaîne disposée comme précédemment, accrochée sur les bords d'un vase qui peut être étroit, mais qui doit être forcément très-haut, et d'une lame de zinc de même hauteur que la chaîne qui est placée en face d'elle, de l'autre côté du vase. De l'eau salée ou même de l'eau pure versée dans ce vase suffit pour provoquer le dégagement électrique. Plusieurs éléments peuvent être groupés ensemble comme dans les piles ordinaires, et l'on obtient ainsi un générateur d'électricité, pour ainsi dire inusable, qui n'exige pour son entretien aucune dépense. M. Robert Houdin s'est servi avec succès de cette pile pour ses horloges électriques, qui depuis plus de six mois fonctionnent sans qu'il ait eu besoin de s'en occuper.

Nouvelle pile portative de M. Pulver-Macher. — Préoccupé

sans cesse de perfectionner les chaînes électriques, qui sont maintenant très-employées en médecine, M. Pulver-Macher est arrivé dernièrement à les réduire à leur plus simple expression et à les fournir à un prix tellement réduit, qu'il a fallu toute une installation mécanique pour pouvoir obtenir un pareil résultat. Voici, du reste, ce que dit le *Cosmos* de ces nouvelles piles dans son numéro du 25 décembre 1857 :

« Les nouvelles chaînes de M. Pulver-Macher, dit-il, sont le résultat d'un travail mécanique vraiment merveilleux. Les fils de cuivre et de zinc, qui sont les métaux électro-moteurs ou générateurs du courant, sont cette fois enroulés mécaniquement et systématiquement autour d'une bande flexible de gutta-percha qui leur sert à la fois de support et d'isolateur. Cette bande, toujours mécaniquement, est percée d'un grand nombre de trous circulaires qui donnent accès au liquide excitateur unique (l'acide acétique étendu d'eau ou le vinaigre) et lui servent en même temps de réservoir. Par cette disposition simple, les chaînes électriques sont devenues à la fois plus puissantes et plus continues ou plus constantes dans leurs effets. Elles constituent un appareil électro-médical efficace, universel. Comme, d'ailleurs, on peut à volonté augmenter la largeur du tissu métallique, la chaîne qui, en raison du grand nombre de ses éléments, donnait déjà un courant de forte tension, pourra, quand le besoin s'en fera sentir, produire aussi de la quantité, et satisfaire par conséquent à toutes les exigences du médecin.

« Malgré son prix, grandement abaissé, la nouvelle chaîne ne constitue pas encore un appareil populaire ; l'habile constructeur a donc, il y a quelques années, conçu l'idée, aujourd'hui réalisée, d'une pile, n'ayant pour support qu'une simple feuille de papier épais, sur laquelle on dépose ou l'on fixe par impression, et en bandes parallèles, les métaux électro-moteurs réduits en feuilles minces ou en poudre, le zinc et le cuivre, ou l'or et le fer, disposés de manière à ce

que l'effet des divers couples s'ajoute et produise une résultante proportionnelle à leur nombre. Au fond, c'est la pile de Zamboni, composée, non plus d'éléments superposés et formant une colonne cylindrique, mais juxtaposés en rangées étroites, formant une surface aussi grande qu'on le voudra, et dont l'effet pourra s'accroître à volonté par l'intervention d'un liquide excitateur plus ou moins énergique. Ainsi se trouve réalisée, mais dans des conditions d'efficacité certaine, l'heureuse idée des topiques ou cataplasmes électriques de l'illustre Récamier.

« Les appareils qui précèdent donnent des courants continus, et, au jugement d'un grand nombre de médecins, c'est le meilleur mode d'application de l'électricité. Dans certains cas, cependant, dans le cas de paralysie, par exemple, on sent la nécessité de faire agir sur le système nerveux des courants intermittents, lancés à intervalles, isochrones, plus ou moins rapprochés, au gré de l'expérimentateur, et il fallait satisfaire à ce besoin impérieux. Dans ce but, M. Pulver-Macher a combiné, avec les mêmes assemblages de fils de zinc et de cuivre, une pile qu'il appelle à triple contact, et qu'il suffit de plonger pendant quelques instants dans du vinaigre plus ou moins dilué pour obtenir un courant à haute tension que l'interrupteur réglé du même artiste, si admirablement construit et si étonnant dans ses résultats, suspend ou rétablit à volonté. Les fils de cuivre sont laminés à plat; les fils de zinc, en spires serrées, les recouvrent sur toute leur longueur; on obtient ainsi beaucoup de surface sous très-peu de volume, et quantité abondante en même temps que tension très-forte. Un autre avantage considérable, c'est que, comme cette pile est continuellement exposée à l'air, traversée par l'air, on n'a plus à redouter l'accumulation de l'hydrogène à la surface des fils électro-négatifs, et cet état de polarisation qui a pour conséquence nécessaire la diminution incessante du courant; elle jouit, au contraire, d'une

constance vraiment remarquable, et bien supérieure à celle que l'on obtient avec les piles à un seul liquide dans lequel les éléments sont sans cesse plongés. »

Pile de J. Erckmann. — Une pile à auges, système de Wollaston, produit, comme nous l'avons dit, une grande quantité d'électricité au moment où le zinc est plongé dans le liquide excitateur; mais cette quantité d'électricité diminue rapidement par suite de la polarisation des lames métalliques, et au bout de peu d'instants le courant produit est très-faible. Comment maintenir ces sortes de piles avec leur première énergie? Tel a été le problème que s'est proposé M. Erckmann, et il a cherché à le résoudre en appliquant aux éléments métalliques de ces piles un mouvement de va-et-vient susceptible de leur faire subir une série d'immersions successives, alternées d'un élément à l'autre, et dont l'action fut complétée par un système de nettoyage des surfaces métalliques au moyen de brosses fixes. De cette manière, la polarisation des lames devait se trouver détruite et l'effet électrique devait être maintenu au maximum tout le temps des immersions.

Pour obtenir une disposition plus en rapport avec ce système de dépolarisation des piles, M. Erckmann propose de faire les couples de forme circulaire, de les monter sur un axe de rotation commun, mis en mouvement par un moteur quelconque, et de les immerger jusqu'à la hauteur de cet axe dans des auges isolées remplies du liquide excitateur; les brosses seraient alors fixées au bâti de l'appareil, entre les surfaces métalliques de ces couples, de telle sorte qu'une moitié de chaque couple serait immergée alors que l'autre serait brossée. De cette manière, il n'y aurait plus de variations d'intensité dans le courant transmis, qui serait toujours maintenu à son maximum d'énergie.

Pile de M. Weare. — La description que M. Weare a faite de sa pile est tellement obscure, que c'est tout au plus si on peut

en saisir le principe. Au fond, cette pile n'est qu'une pile à auges dont les éléments, zinc et cuivre, sont enveloppés dans des espèces de sacs en papier perméable, qui contiennent : l'un, celui dans lequel est renfermé le zinc, du chlorure de calcium ou de zinc ; l'autre, du chlorure de cuivre. Le contact de ces substances avec les plaques zinc et cuivre empêchent, suivant l'auteur, les effets nuisibles de la polarisation et évitent d'amalgamer le zinc ; toutefois, il faut que ces sacs ne soient perméables que dans les parties placées en regard des surfaces métalliques ; au-dessus, au-dessous et sur les côtés, ils doivent être rendus imperméables au moyen d'un vernis de glu marine ou de caoutchouc.

Chaque couple est composé de deux plaques carrées de zinc et d'une plaque de cuivre, enveloppées comme nous l'avons dit précédemment. Mais entre ces plaques ainsi enveloppées se trouvent de petites cloisons de bois de placage servant probablement de diaphragme. Le tout, d'ailleurs, ne forme qu'un seul bloc, relié et pressé à l'aide de rivets, et qui est ensuite placé sur champ dans une boîte étroite, dont les faces les plus larges sont garnies de plaques de cuivre. C'est dans cette boîte qui complète l'élément qu'est versé le liquide excitateur, lequel n'est autre que de l'eau acidulée ordinaire.

En réunissant dans une auge, divisée en compartiments, un certain nombre de ces boîtes, et en fixant sur une traverse de bois tous les couples métalliques qui doivent être immergés, on obtient une batterie qu'on peut charger et décharger instantanément, comme les anciennes piles de Wollaston.

Si le lecteur a bien saisi la description que nous venons de faire, il se demandera quel rôle jouent les plaques de cuivre qui tapissent les deux grands côtés des boîtes aux liquides, puisqu'il y a déjà une plaque de cuivre munie de son sac qui se trouve pour ainsi dire empaquetée avec les zincs. Sur cela, comme sur beaucoup d'autres points, l'explication de

M. Weare est complétement inintelligible; toujours est-il que les plaques des boîtes semblent avoir été établies pour recueillir les polarités du liquide excitateur, puisqu'elles communiquent d'un élément à l'autre avec les zincs. Mais alors, à quoi sert la plaque de cuivre placée avec les zincs?

Pile de M. Caussinus.— Le but de cette pile est la suppression des acides liquides employés jusqu'ici dans les piles; elle se compose d'abord d'un vase de zinc, au fond duquel se trouve un disque de liége, et, en second lieu, d'un vase tout en cuivre rouge ou en plomb, qui est moitié plus petit que le premier, et qui est posé sur le disque de liége. On charge avec un mélange de sels, que l'on prépare de la manière suivante :

Dans un demi-litre d'eau, on met 100 grammes de sel marin et 200 grammes d'azotate de potasse, puis on chauffe et on fait réduire de moitié. On ajoute ensuite, peu à peu, 200 grammes d'acide sulfurique, et on chauffe encore, jusqu'à ce que le tout ne fasse plus qu'une espèce de pâte. Cette pâte est ensuite exposée à l'air dans des assiettes pour laisser évaporer les liquides et cristalliser les sels, et c'est avec ces sels, appelés par l'inventeur *sels combinés*, qu'on charge la pile, en ayant soin de remplir préalablement à moitié le plus grand vase (celui en zinc) de sel marin. Les sels combinés remplissent alors le second vase et la moitié du plus grand. La présence de ces sels suffit, selon M. Caussinus, pour produire un dégagement électrique assez intense. Pour régénérer la pile pendant sa marche on ajoute, quand besoin en est, une eau seconde faite avec moitié eau, moitié acide sulfurique.

PILES ÉCONOMIQUES.

Nous avons vu, dans notre *Exposé des applications de l'électricité*, quels étaient les efforts tentés jusqu'en 1857 pour résoudre la question économique de la pile, c'est-

à-dire pour obtenir des résidus susceptibles de fournir des produits vendables ou de permettre une revivification facile des éléments primitifs dont la pile se compose. De nouveaux essais ont été tentés depuis, et ont conduit à quelques résultats avantageux : c'est ainsi que M. Selmi produit du blanc de zinc avec les résidus de sa pile à triple contact, dont nous avons parlé page 20. Il suffit pour cela de les recueillir sur un filtre, de les laver, de les sécher et de les traiter par l'eau bouillante additionnée d'une petite quantité de lait de chaux[1]. C'est encore ainsi que M. Douhet, voyant que le sulfate de zinc précipité par le sulfure de barium donne du sulfure de zinc et du sulfate de baryte insoblubles et blancs l'un et l'autre, a pensé que ce mélange était susceptible d'être utilisé comme couleur pour la peinture à l'huile[2]. Enfin c'est ainsi que M. Magrini, en substituant l'acide chlorhydrique à l'acide sulfurique (une partie d'acide chlorhydrique pour dix parties d'eau) dans la pile de Bunsen, est arrivé à produire de l'oxychlorure de zinc sous la forme d'une pâte très-fine qui s'attache aux parois des vases poreux, et dont on peut tirer un parti excellent pour la peinture, surtout avec les nouveaux procédés de M. Sorel[3], Il paraîtrait même que l'énergie de la pile Bunsen ne serait pas diminuée par

1. Un kilogramme de zinc consommé au sein de la pile donne en moyenne, suivant M. Selmi, 1,300 grammes de blanc de zinc, dont la valeur intrinsèque et commerciale diffère peu de celle d'un poids égal de métal. En admettant que le zinc coûte 1 fr. et le blanc de zinc 90 centimes le kilogramme, les 1,300 grammes de blanc de zinc obtenu vaudront 1 fr. 17 c. Ce serait donc un gain de 17 centimes qu'il faudrait retrancher de la mise de fonds première et du coût de la main-d'œuvre pour avoir le prix de revient de la force obtenue.

2. Depuis 1853, on a fabriqué, par les soins de M. Douhet, et livré au commerce 130,000 kilogr. de ce produit, sous le nom de *blanc métallique*.

3. Nous avons vu, page 100, t. Ier, de notre *Exposé*, que MM. de La Valette et Dulaurier avaient résolu le même problème. Seulement leur pile n'étant qu'à un seul liquide, l'énergie était moins grande que celle dont nous parlons aujourd'hui.

cette substitution, et que la constance resterait la même. Mais, quoi qu'il en soit, le plus important des perfectionnements apportés à la pile sous le rapport économique est celui de M. Doat, dont nous avons déjà parlé dans notre premier volume, et qu'il a encore amélioré depuis, ainsi qu'on va le voir. Laissons, en effet, parler l'auteur :

« A l'époque où M. Becquerel me fit l'honneur de présenter lui-même à l'Académie ma pile galvanique ayant le mercure et l'iode pour éléments actifs et la revivification de ces éléments pour principe, il m'était déjà démontré que dans plusieurs circonstances pouvait se faire sentir le besoin d'une action plus riche en force électro-motrice; aussi, immédiatement après la communication de mon travail, je portai toute mon attention sur les compositions de l'iode avec les métaux les plus électro-positifs amalgamés avec le mercure, et j'obtins des dispositions de pile dont l'énergie et la constance ne pouvaient être égalées par aucune des piles déjà existantes. Seulement, pendant longtemps, la revivification des iodures des métaux de première classe, et notamment de l'iodure de zinc, me présenta de telles complications, que plusieurs fois je fus sur le point de renoncer à mes recherches, regardant comme insurmontables les difficultés qui s'accumulaient devant moi. Ainsi l'iodure de zinc, qui est indiqué dans les meilleurs traités de chimie comme perdant l'iode lorsqu'on le chauffe en présence de l'oxygène de l'air, devient volatil juste à la température où l'oxygène le décompose; il se forme une atmosphère d'iodure de zinc qui écarte l'oxygène de la masse chauffée, et ce n'est qu'après des opérations bien souvent répétées qu'on élimine une quantité notable d'iode.

« Heureusement, dans le cours de mes travaux, j'ai trouvé un agent de décomposition des plus énergiques relativement à la plupart des iodures; c'est le *carbonate basique de bioxyde de cuivre*. Tandis que les sels solubles de bioxyde de cuivre,

en réagissant sur les iodures alcalins, ne précipitent que la moitié de l'iode, j'ai trouvé que les sels basiques, et principalement le carbonate, n'exercent qu'une action à peine sensible sur les iodures alcalins, et qu'au contraire ils agissent avec la plus grande rapidité sur les iodures alcalino-terreux des classes plus élevées, notamment sur l'iodure de zinc, et qu'ils éliminent *la totalité de l'iode* en passant à l'état de sel de protoxyde et en oxydant le métal combiné avec l'iode.

« C'est d'après ce principe que je produis la revivification des éléments de ma pile galvanique formée avec l'amalgame de zinc, l'iodure de potassium et l'iode.

« Les vases ont absolument la même forme que celui qui fut mis sous les yeux de l'Académie lors de la présentation de ma pile à mercure pur. Seulement, sur le pôle plat en charbon, on dispose un filtre très-évasé en terre poreuse renfermant du carbonate de bioxyde de cuivre hydraté. Lorsque la pile a fonctionné, on soutire le liquide contenu dans les auges et on le rejette sur les filtres. Ce liquide, qui n'est alors formé que d'un iodure double de zinc et de potassium, est décomposé par le sel de cuivre. L'iodure alcalin reste pur, et l'iodure de zinc est changé en oxyde de ce métal, tandis que l'iode, mis à nu, se dissout dans l'iodure alcalin, passe avec lui à travers le filtre et va tomber sur le pôle en charbon, où il empêche de nouveau la polarisation. A la température ordinaire, l'action du sel de cuivre est très-prompte, mais, vers 60° centigrades, elle est instantanée.

« Ainsi la revivification de l'iode n'exige d'autre dépense et d'autre soin que de soutirer et de jeter le liquide saturé des auges sur un filtre chargé de carbonate hydraté de cuivre.

« Pour opérer la revivification du zinc, on prend les produits restés à l'état insoluble sur le filtre et composant un mélange de carbonate de protoxyde de cuivre et d'oxyde de

zinc, et, après les avoir broyés avec du charbon en poudre, on les met dans un creuset ordinaire qu'on place dans un fourneau dont le tirage soit bon; on chauffe, et dans un temps fort court la réduction est opérée. Primitivement, je poussais la chaleur au rouge blanc pour recevoir le zinc par distillation, tandis que le cuivre restait pur dans le creuset et pouvait être livré au commerce; mais l'expérience m'a démontré qu'il est bien plus simple de ne pousser la chaleur qu'au rouge; alors c'est du laiton que l'on obtient; ce laiton, livré au commerce au prix des vieilles mitrailles de laiton, couvre parfaitement les dépenses de la pile, lesquelles ne consistent que dans l'achat du zinc métallique, du sulfate de cuivre et du carbonate de soude, ces deux derniers sels, en dissolution, servant à produire le carbonate hydraté de cuivre. Ces divers produits se trouvent partout, et la mitraille de laiton a son écoulement dans les plus petits centres de population.

« Dans la pratique, je me suis bien trouvé d'opérer la revivification de l'iode toutes les vingt-quatre heures, cette opération n'exigeant que la peine de verser un liquide dans un vase à filtration. Quant aux produits métalliques, je les place de côté pour en opérer la revivification tous les mois seulement, car en opérant sur des quantités un peu considerables de matière, on peut produire une très-belle fonte de laiton et augmenter ainsi sa valeur commerciale. »

Piles à tournure de fonte de fer. — L'avantage de l'emploi du fer, comme élément électro-positif, dans la construction des éléments d'une pile quelconque, a été depuis longtemps déjà signalé, et il existe même en Russie un établissement fondé par le prince de Leuchtenberg où l'emploi des piles de ce genre a été adopté avec succès.

Il suffit de comparer le prix du fer au prix du zinc pour se rendre compte de l'économie que ce mode peut procurer. En substituant au fer ou à la fonte de fer de la tournure

de fonte, l'économie est encore plus sensible; car la tournure vaut au plus 6 francs les 100 kilogrammes, tandis que le zinc vaut environ 90 francs.

Il y a plus : dans certains établissements où on travaille le fer en grand, tels que dans les ports militaires, à Cherbourg et ailleurs, on est quelquefois tellement encombré de ce produit qu'il se trouve entièrement perdu.

« La manière de l'employer à la construction d'une pile, dit M. Menant, est des plus simples : il suffit de substituer la tournure de fonte au zinc d'une pile de Bunsen, et alors, pour prendre la polarité de cet élément incohérent, on plonge dans la tournure elle-même un fil de fer tourné en spirale qui sort du vase pour constituer le pôle négatif du couple voltaïque. On substitue de la même manière le fer au zinc dans la batterie de Daniell. On obtient alors des éléments qui produisent à peu près les deux tiers du travail des piles primitives, en conservant toutes choses égales d'ailleurs, et qui offrent une économie de 90 pour 100 dans l'emploi du métal substitué. Toutefois, pour tirer tout le parti possible de cette substitution, il faut pouvoir se débarrasser facilement de l'oxyde en excès qui se forme pendant le travail de la batterie, et qui pourrait nuire à la production du courant. On obtient ce résultat en employant un liquide excitateur susceptible de fournir avec le fer un sel soluble. Les sulfates, en général, et particulièrement le sulfate de magnésie étendu d'eau, doivent être préférés. Enfin le vase dans lequel plonge la tournure doit porter une ouverture à sa partie inférieure pour laisser écouler à volonté la solution trop saturée de sels de fer, et permettre de renouveler le liquide excitateur sans déranger l'appareil.

« Enfin, en réduisant la batterie à sa plus simple expression, on peut simplement envelopper un morceau de charbon d'une feuille de papier à filtre, le plonger dans la tournure de fer, au centre de la spirale dont nous avons déjà parlé, et

on obtient alors, avec un seul liquide excitateur (de l'eau aiguisée par l'acide sulfurique ou le sel d'Epsom), une batterie peu énergique, mais d'une assez grande constance dans ses effets.

« Ces piles, sous les trois formes dont il a été parlé, sont surtout avantageuses pour la galvanoplastie.

Liquide pour l'amalgamation des zincs. — Nous avons parlé, page 71 (1er volume) de notre *Exposé,* d'un liquide au moyen duquel on pouvait amalgamer instantanément les zincs des piles par une simple immersion. Voici quelques détails sur la fabrication de ce liquide, transmis par M. Berjot lui-même, et qui pourront être utiles, car les doses s'y trouvent indiquées.

« On fait dissoudre à chaud, dit M. Berjot, 200 grammes de mercure dans 1,000 grammes d'eau régale (acide nitrique 1, chlorhydrique 3); la dissolution de mercure étant terminée, on y ajoute 1,000 grammes d'acide chlorhydrique. Avec un litre de ce liquide, dont le prix n'excède pas 2 francs, on peut amalgamer plus de cent cinquante zincs.

NOUVEAUX GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ.

Pile terrestre de M. Palagi. — Nous avons vu, page 46, t. I, de notre *Exposé*, que l'on était parvenu à provoquer de la part du globe terrestre des courants électriques assez sensibles, soit en mettant à profit le dégagement électrique produit au contact des terres et des nappes d'eau, soit en plongeant en terre ou dans l'eau deux plaques métalliques, zinc et cuivre, soit même en mettant un simple fil isolé en relation avec une plaque de cuivre enterrée. Toutefois, aucun de ces courants n'a pu jusqu'à présent être assez régulier et assez énergique pour être employé dans la télégraphie électrique. M. Palagi, à la suite d'expériences du plus haut intérêt, semble avoir

résolu ce problème, du moins pour les télégraphes à aiguilles.

L'un des grands inconvénients des courants électriques obtenus par l'immersion de lames métalliques, zinc et cuivre, était le changement irrégulier et continuel de direction, changement qui, d'après les observations de M. Palagi, faites deux fois par jour pendant trois mois, ne semblait avoir aucune cause apparente. Voulant se rendre compte de ce phénomène, M. Palagi remplaça l'une des lames métalliques par une plaque de charbon, et quel fut son étonnement lorsqu'il reconnut non-seulement que le courant produit était plus intense, mais encore qu'il se trouvait dirigé d'une manière régulière du charbon au zinc! Cette découverte l'encouragea à entreprendre d'autres expériences, et il put reconnaître bientôt les faits suivants :

1° La force du courant tellurique obtenu avec charbon et zinc plongés dans l'eau aux deux extrémités d'un circuit diminue, il est vrai, d'intensité quelques instants après l'immersion des lames, mais devient bientôt d'une constance très-grande;

2° L'énergie des courants telluriques ne dépend pas de la surface des lames de charbon et de zinc, mais bien du nombre de ces lames lorsqu'elles sont suspendues les unes à la suite des autres (les lames charbon avec les lames charbon, les lames zinc avec les lames zinc), comme les grains d'un chapelet; alors l'accroissement d'énergie du courant est presque proportionnel au nombre des plaques formant chacune des deux chaînes;

3° Si les plaques charbon et zinc, au lieu d'être suspendues les unes au-dessous des autres, sont réunies aux deux extrémités du fil formant le circuit, cette augmentation d'énergie n'existe pas;

4° La condition essentielle pour que le développement électrique ait lieu est que la chaîne formée par les plaques

de zinc ne touche pas le sol, mais flotte librement au sein de l'eau dans laquelle elle est immergée ;

5° La chaîne charbon peut toucher sans inconvénient le fond de l'eau dans laquelle elle est immergée, à la condition que les fils de cuivre formant la suspension des charbons ne se touchent pas. Si cependant ce contact avait lieu, l'intensité du courant diminue, comme si on supprimait les charbons placés à la suite du fil touché ;

6° Plus les zincs ou les charbons réunis en chaîne sont éloignés les uns des autres, plus le courant est énergique ;

7° Si les lames de zinc se touchent entre elles, le courant cesse complétement. Si, au contraire, les charbons se touchent, le courant n'est que notablement diminué ; il reste cependant plus fort que si les charbons ne formaient qu'une seule pièce ;

8° Si les zincs sont relevés de l'eau et plongés de nouveau sans avoir été essuyés, le courant diminue d'énergie et ne reprend sa force première qu'après avoir été essuyés, puis replongés. Les charbons, au contraire, peuvent être retirés de l'eau, puis replongés sans avoir été essuyés sans qu'aucun changement ait lieu ;

9° L'amalgamation des zincs augmente l'intensité du courant ;

10° La chaîne des charbons et celle des zincs peuvent être plongées dans un même puits ou dans des puits plus ou moins éloignés, ou des rivières; elles peuvent être placées verticalement ou horizontalement, en les soutenant par des flotteurs;

11° La déviation de l'aiguille aimantée n'est pas diminuée quand on sort de l'eau la chaîne des charbons, pourvu qu'ils soient tous humides, et que le dernier d'entre eux au moins soit plongé en totalité ou en partie ;

12° Les chaînes peuvent même être placées dans des vases d'eau pure isolés de la terre.

Voici les expériences tentées par M. Palagi pour utiliser les courants telluriques obtenus de la manière précédente à la télégraphie :

« 1° Le 20 septembre 1857, dit M. Palagi, douze lames de zinc d'environ 20 centimètres de longueur sur 20 de largeur, furent placées dans un puits aux Batignolles. A Asnières, douze charbons de piles de Bunsen, de 20 centimètres de longueur sur 4 de diamètre, furent plongés dans la Seine. Ces deux chaînes furent réunies aux deux extrémités d'un fil de ligne télégraphique de 3 kilomètres de longueur environ. Deux appareils Bréguet à cadran, placés dans le circuit, fonctionnèrent d'une manière satisfaisante.

« 2° Le 16 octobre, à Asnières, on fit usage d'une chaîne de 45 charbons : à Chatou, une chaîne de 24 zincs fut mise dans la Seine ; le fil télégraphique entre ces deux stations a environ 12 kilomètres de longueur. L'appareil Bréguet fonctionna d'une manière imparfaite ; mais le télégraphe à aiguille de Wheatstone fonctionna parfaitement.

« 3° Le 31 octobre, une chaîne de vingt-quatre zincs fut mise dans la Seine au pont d'Oissel, près Rouen, et une de quarante charbons à Asnières, la distance étant de 120 kilomètres ; le télégraphe Wheatstone put fonctionner ; il fonctionna même avec un seul charbon. »

Générateur Lamy. — Ce système de générateur, qui est fondé sur le principe des machines d'induction, a pour but d'utiliser, au point de vue de la production de l'électricité, le mouvement produit par le moteur dans les usines et les grands ateliers. « On sait, dit M. Lamy, que dans toute machine fixe il existe une roue en fonte destinée à régulariser le mouvement, véritable réservoir de force qu'on appelle *volant*. A l'état de repos, ce volant est aimanté par l'action du globe ; à l'état de mouvement il est encore aimanté, mais le magnétisme est distribué d'une autre manière et varie constamment pour une portion donnée de la jante. Si donc on en-

roule sur une partie de cette jante comme noyau de bobine et perpendiculairement à sa direction un fil de cuivre recouvert de coton ou de soie, on formera une hélice qui pourra être assimilée à la bobine de l'appareil de Clarke, avec cette différence toutefois, qu'au lieu de tourner devant des aimants artificiels voisins, la bobine du volant tournera devant l'aimant terrestre. En outre, à cause de la grosseur du noyau métallique, on pourra multiplier considérablement la quantité de fil de cuivre avant d'atteindre la limite d'action inductive, et l'on augmentera par là même beaucoup la résistance du circuit, par suite la tension du courant produit. Par cette disposition on profite d'un mouvement nécessaire. Quelques dizaines de kilogrammes de fil ajoutés au poids d'un volant de 4,000 à 5,000 kilogrammes ne peuvent être considérés comme opposant une résistance notable ou plutôt comme nuisant à l'effet de la machine, puisqu'un poids considérable est nécessaire à la régularité de la marche et du travail. Cette idée, d'ailleurs, n'est pas restée à l'état de simple conception. Voici l'expérience que j'ai été à même de faire. Sur un volant de médiocre grandeur, j'ai monté trois bobines de 27 à 33 centimètres de longueur avec des fils de cuivre, ayant pour diamètre, le premier, $1^m,85$, le second, de $1^m,1$ à $1^m,4$; le troisième, de $0^m,6$ à $0^m,62$. Le fil n° 1 avait 600 mètres de longueur; le fil n° 2, 2000; le fil n° 3, 5450. Avec le fil n° 2 on a obtenu une faible étincelle, mais d'énergiques commotions par l'extra-courant. La bobine n° 3, seule ou accouplée avec le fil n° 2, a donné des effets de tension comparables à ceux d'une pile de deux éléments de Bunsen. Toutes les dissolutions salines essayées, l'eau de puits, l'eau distillée elle-même parfaitement pure, ont été décomposées en employant pour électrodes des fils de platine.— Les courants électriques dont je fais connaître le mode électrique de génération pourront être produits avec une intensité variable dans la plupart des usines où existe un volant en fonte, et

nous ne croyons pas trop présumer de leur importance en disant que leurs effets variés recevront un jour quelques applications utiles. »

Perfectionnements nouveaux apportés aux machines ma-

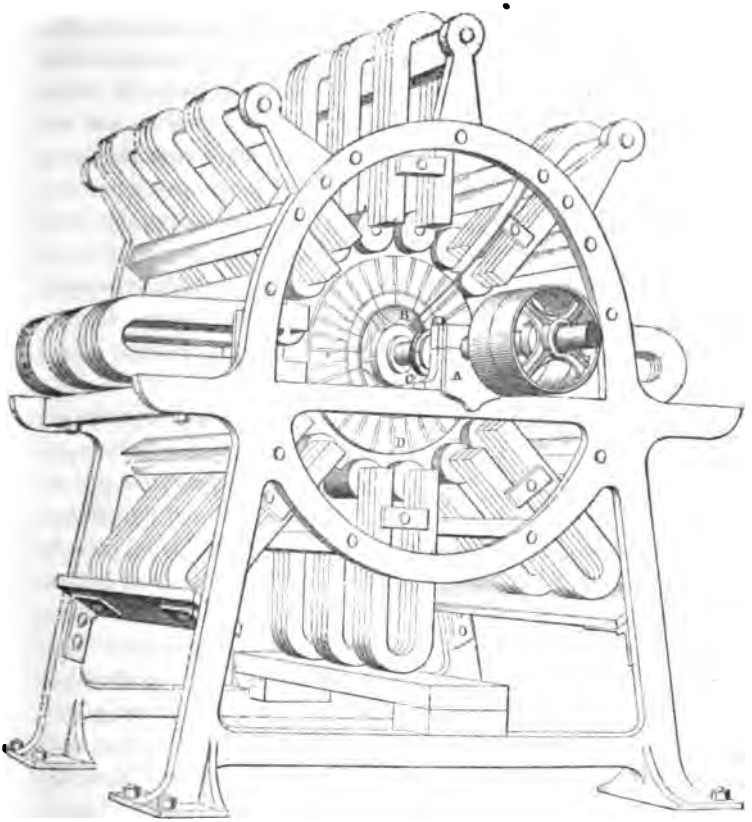


Fig. 6.

gnéto-électriques de l'usine à gaz des Invalides. — Nous avons longuement décrit, page 361 (1er volume) de notre *Exposé,*

ces intéressantes machines, les plus grandes qui aient été jusqu'à présent construites. Mais depuis deux ans elles ont subi d'importants perfectionnements de détails que ne devons pas laisser passer sous silence, car ils ont même, au point de vue scientifique, une importance réelle.

On a d'abord cherché à perfectionner l'isolement des fils des bobines, et pour cela on a employé pour les recouvrir une dissolution de bitume de Judée dans de l'essence de térébenthine. Cette espèce de vernis a l'avantage de ne pas se gercer facilement et de se sécher extrêmement vite. De plus, il est très-limpide, de sorte qu'il n'augmente pas sensiblement l'épaisseur des différentes couches de spires des hélices. En second lieu, le canon de fer des bobines et les rondelles qui les terminent ont été fendus, le canon dans le sens de sa longueur, et les rondelles suivant leur rayon; l'on a gagné à ce simple perfectionnement une augmentation d'intensité électrique de 15 à 20 pour 100.

Le commutateur a aussi subi de nombreuses transformations, et surtout les frotteurs de ce commutateur, en raison de leur prompte usure. Le système de ces frotteurs qui a le mieux réussi consiste dans une lame d'acier divisée en fourche, amincie par une de ses extrémités et adaptée à deux pièces métalliques sur lesquelles pivotent deux galets d'assez grand diamètre. La forme de fourche lui a été donnée pour diviser l'étincelle; mais cette disposition n'a pas suffi. Du reste, l'expérience ayant démontré que, malgré les meilleures conditions de ce commutateur, l'usure était encore trop grande, et la déperdition d'électricité, au moment des inversions de courant, trop considérable, on a cherché à le supprimer entièrement, du moins pour les effets lumineux à produire, et l'on est arrivé à des résultats très-curieux que nous croyons devoir rapporter.

Avec une machine composée de 6 rouleaux renfermant chacun 16 bobines et tournant autour de 56 aimants en fer à

cheval, on a fait rougir un fil de fer de 3 dixièmes de millimètre de diamètre sur une *longueur de 4 mètres*. Ce fil a pu être maintenu avec la même intensité lumineuse pendant tout le temps qu'a marché la machine. Il est vrai que les bobines étaient disposées en tension et non en quantité, c'est-à-dire que les 96 bobines étaient réunies bout à bout. Un pareil courant n'a pu faire rougir un fil de 1 millimètre de section sur 10 centimètres de longueur. La lumière produite avec les charbons ordinaires était équivalente à celle fournie par 40 éléments Bunsen. Mais son effet rayonnant n'était pas permanent, et une grosse flamme résultant de la combustion permettant aux charbons de s'écarter beaucoup l'un de l'autre, il était difficile d'obtenir toujours la lumière dans son maximum d'éclat. En augmentant la quantité d'électricité produite aux dépens de la tension, c'est-à-dire en ne réunissant l'une au bout de l'autre que 48 bobines, et en faisant aboutir directement au régulateur les deux courants issus de ces deux systèmes de 48 bobines, le fil de 4 mètres n'a pu s'échauffer dans sa longueur; il a été brûlé immédiatement aux extrémités polaires des rhéophores; mais la lumière, en revanche, a été plus brillante. Toutefois, le problème n'a pu être résolu d'une manière complétement satisfaisante qu'en employant des charbons particuliers composés par M. Jacquelain. Nous verrons, en effet, à l'article de la lumière électrique, que l'intensité de la lumière produite par les courants d'induction dépend surtout des charbons, qu'elle est beaucoup plus grande avec du graphite plombaginé et du charbon qu'avec deux charbons ou deux graphites, et qu'elle acquière une puissance merveilleuse avec les charbons de carbone pur.

Les expériences que nous venons de rapporter ont permis de déterminer les vitesses de rotation nécessaires pour obtenir le maximum d'intensité électrique, suivant les différents effets que l'on veut produire. Ainsi on a pu s'assurer

que 235 tours des rouleaux par minute est la vitesse la plus convenable pour la lumière électrique, tandis que la vitesse de 200 tours par minute convenait le mieux à la galvanoplastie. Ce qui revient à dire que, pour la lumière, chacune des 96 bobines d'induction doit se trouver influencée doublement (c'est-à-dire par ses deux extrémités polaires) 7520 fois par minute, de manière à produire 1880 courants inverses et 1880 courants directs, en tout 3760 courants. Ce nombre ne représente pas, bien entendu, celui de toutes les influences exercées, car le courant direct, qui naît au moment de l'éloignement des pôles pairs, se confond avec le courant inverse produit au rapprochement des pôles impairs, de même que le courant inverse, qui naît au moment du rapprochement des pôles pairs, se marie au courant direct provenant de l'éloignement des pôles impairs.

Au moment où nous publions ce volume, les expériences se continuent encore à l'usine à gaz des Invalides, surtout en vue d'obtenir une belle lumière électrique. On comprend, en effet, de quelle importance est pour la navigation la solution de cette question, puisque, ainsi que nous l'avons déjà dit, elle permettrait d'éclairer la marche des navires à vapeur à une distance suffisante pour que les accidents ne pussent survenir, et cela sans aucune dépense, puisqu'en empruntant à la machine du navire un ou deux chevaux de force, on aurait ainsi entre les mains un générateur formidable d'électricité. Quant aux applications des machines magnéto-électriques à la galvanoplastie, c'est déjà un fait accompli, et tout dernièrement la compagnie de l'usine à gaz des Invalides a installé une machine du genre de celle dont nous venons de parler dans les ateliers de M. Bernard, où elle fonctionne de la manière la plus satisfaisante. Pour ce genre d'application, le commutateur dont il a été question devient tout à fait indispensable.

Du reste, des perfectionnements importants ne tarderont

pas à être introduits d'ici à peu dans ces machines. Parmi ces perfectionnements, il en est deux qui sont en quelque sorte forcés : c'est d'abord l'application de bobines fixes sur les branches polaires des aimants fixes, afin d'utiliser les réactions produites sur ces aimants par les bobines mobiles au moment de leur passage ; en second lieu, l'immersion du commutateur dans un liquide non conducteur. M. Hjorth, il est vrai, a pris un brevet pour le premier de ces perfectionnements ; mais son brevet n'a aucune valeur, puisqu'il est primé par celui de M. Nollet, l'inventeur des machines dont nous parlons elles-mêmes, et par celui de M. Gaiffe, dont il a été fait mention dans le 1er volume de l'*Exposé*.

M. Leroux, répétiteur de physique à l'École polytechnique, a profité de la présence au Conservatoire de l'une des machines de l'usine des Invalides pour faire des recherches sur les circonstances qui font varier l'intensité du courant qu'elles produisent, et sur l'évaluation du travail mécanique employé pour obtenir des effets donnés.

Les circonstances qui font varier l'intensité du courant sont : 1° la résistance extérieure ; 2° la vitesse ; 3° l'état de tension intérieure dépendant de l'arrangement des bobines, soit en surface, soit en tension.

Les expériences de comparaison ont été faites, soit avec la boussole des sinus et le rhéostat, soit par opposition avec les éléments de Bunsen. On a pu dresser ainsi des courbes indiquant les variations de la force électro-motrice dans les différents cas.

Il résulte des faits observés que, dans la construction ou l'usage des appareils magnéto-électriques, on doit avoir égard aux principes suivants :

1° Pour une même vitesse, l'intensité ne croît pas en raison inverse de la résistance du circuit, à moins que celle-ci ne soit très-grande relativement à celle de l'appareil.

2° Pour une même vitesse, l'effet produit par chaque élé-

ment est d'autant moindre qu'il y a un plus grand nombre d'éléments en tension[1].

3° L'effet produit croît d'autant moins avec la vitesse, qu'il y a un plus grand nombre d'éléments en tension.

Quant à l'évaluation du travail mécanique et à la comparaison avec les effets produits, elles ont pu se faire de la manière suivante : on mesurait le travail nécessaire pour faire marcher à vide la machine à une vitesse constante (cette mesure a été obtenue dans diverses expériences, soit avec la manivelle de M. Morin, soit au moyen de la chute d'un poids tombant d'une hauteur de 25 mètres). On mesurait ainsi le travail passif de l'appareil. On répétait la même observation, mais en fermant le circuit par une spirale de platine de résistance connue ; cette spirale était disposée dans un calorimètre qui donnait la quantité de chaleur dégagée. Connaissant les résistances de la spirale et de tout le circuit, il était facile d'en conclure la quantité de chaleur totale. Si l'on compare cette quantité de chaleur au travail mécanique dépensé, on trouve comme moyenne de trois expériences le nombre 458 kilogrammes dépensés pour le dégagement de 1 calorie. Dans des expériences analogues, M. Joule avait trouvé 460.

L'accord de ces deux nombres est évident. Pourquoi diffèrent-ils autant du nombre 423 trouvé dans les expériences plus directes du frottement ou de la compression ? C'est que, dans les expériences d'électricité, une partie des effets échappe forcément : c'est la chaleur dégagée par l'étincelle ; ce sont des modifications moléculaires permanentes subies par les conducteurs, et aussi les courants induits qui doivent être déterminés par ceux de l'appareil dans les corps avoisinants.

En interposant entre les extrémités du fil conjonctif un

1. M. Leroux appelle *élément* une des bobines de l'appareil.

voltamètre, on a pu déterminer un maximum de la quantité de travail nécessaire pour le dépôt de 1 gramme de cuivre. Le voltamètre était rempli d'une dissolution de sulfate de cuivre neutre; la résistance était celle de 6 mètres d'un fil de cuivre pur de 1 millimètre de diamètre. On a trouvé dans cette expérience qu'il fallait 250 kilogrammètres pour déposer 1 gramme de cuivre.

A quoi ont été employés ces 250 kilogrammes? En partie à chauffer le liquide, en partie à vaincre la cohésion de l'électrode soluble. D'après cette donnée, on voit qu'avec un bain, dont la résistance serait celle indiquée plus haut, et un appareil magnéto-électrique de résistance égale, il faudrait une force de 1 cheval vapeur pour opérer un dépôt de 270 grammes par heure. De plus, il faudrait ajouter le travail passif de l'appareil, qui est environ les $\frac{2}{3}$ du travail utile.

M. L. R. a cru intéressant de rapprocher les faits qui précèdent de ceux mis en lumière par les physiciens modernes sur la chaleur dégagée dans la pile et dans le circuit interpolaire, comme aussi des lois qui régissent la chaleur dégagée par les décharges. L'identité est complète, et la comparaison de tous ces phénomènes amène à les résumer dans ce principe général : *Un mouvement électrique peut être regardé comme la circulation d'un certain travail se transformant de qualités équivalentes pour les chemins parcourus égaux en résistance, cette transformation s'effectuant d'une manière déterminée par la nature et l'état du conducteur.*

Voici, du reste, comment M. Leroux conclut relativement au maximum d'effet utile susceptible d'être fourni par les machines électro-magnétiques et autres machines du même genre :

« Lorsqu'un circuit a des parties en mouvement, ou qu'il est traversé par des courants discontinus, ou bien que les deux choses ont lieu à la fois, les diverses parties de ce circuit (je parle du circuit lui-même, et non des corps avoisi-

nants) s'échauffent comme s'il était immobile, que le courant fût continu, et qu'il présentât la même intensité que lorsqu'il est discontinu.

« Le mouvement d'une portion du circuit (mouvement nécessairement accompagné d'un travail mécanique), ou la discontinuité du courant, fait naître une résistance spéciale que nous appelons *résistance dynamique*.

« L'intensité du courant, c'est-à-dire la quantité de travail mise en jeu pendant l'unité de temps, est toujours en raison inverse, toutes choses égales d'ailleurs, de la somme des résistances dynamiques ou statiques.

« Le travail mis en jeu, que ce travail soit extérieur, comme dans les machines magnéto-électriques, ou intérieur, comme dans les appareils où entrent des éléments de pile, ce travail se partage entre les diverses parties du circuit (chacune prise en bloc, c'est-à-dire avec les corps avoisinants) proportionnellement aux résistances dynamiques et statiques de ces parties.

« On peut résumer ces lois dans les formules suivantes (R étant la résistance statique, r la résistance dynamique d'une partie du circuit) :

$$\frac{To}{\Sigma(R + r)^1}$$

travail mis en jeu pendant l'unité de temps,

$$\frac{To(R + r)}{[\Sigma(R + r)]^2},$$

travail relatif à une partie donnée du circuit.

« Pour utiliser autant que possible le travail, il faut que la partie proportionnelle à R soit aussi petite que possible, car elle reste essentiellement dans la machine; il faut, en outre, que la fraction extérieure de r soit aussi grande que possible. »

Après les machines magnéto-électriques dont nous venons de parler, que pouvons-nous dire d'une foule d'autres petites machines du même genre, brevetées par MM. Holmes, Hjorth, etc., etc., qui ne diffèrent que par la forme et la disposition de celles que nous avons étudiées dans notre premier volume. Nous croyons plus intéressant d'entrer dans quelques détails sur de nouveaux perfectionnements plus importants, apportés aux machines d'induction de Ruhmkorff par MM. l'abbé de Laborde, Hearder et Jean, et qui permettent d'obtenir actuellement des étincelles de 30 centimètres de longueur.

Appareil de l'abbé Laborde. — Dans les modifications qu'il a apportées à l'appareil de Ruhmkorff, M. l'abbé Laborde a eu pour but :

1° De placer les deux extrémités du fil induit dans les mêmes conditions par rapport à l'action de l'hélice inductrice ;

2° De multiplier les points de contact de l'interrupteur de l'appareil avec le condensateur, afin que la condensation des fluides fût plus prompte et pût s'opérer à la fois sur plusieurs points ;

3° De rendre l'interrupteur susceptible de fournir des mouvements parfaitement réguliers et variables dans leur accélération dans des limites assez étendues.

Pour résoudre le premier problème, M. l'abbé de Laborde divise en deux parties égales par une rondelle en carton la portion de la bobine où doit se trouver enroulée l'hélice induite. Celle-ci se compose de deux hélices égales en longueur et enroulées individuellement sur chacune des moitiés de la bobine dans le sens convenable pour ne présenter, après avoir été reliées ensemble par leurs extrémités intérieures qu'une seule et même hélice dans les mêmes conditions que celles des appareils ordinaires. Avec cette disposition, on comprend aisément que les deux extrémités de cette double hélice ainsi

réduite en une seule se trouvent exactement dans les mêmes conditions par rapport à l'action inductrice, et fournissent, par cela même, toutes les deux de l'électricité de tension lorsqu'on en approche un conducteur isolé du circuit. C'est donc alors la partie moyenne qui se trouve soumise à l'influence directe de l'induction voltaïque.

Le condensateur de M. l'abbé de Laborde n'est autre que le condensateur cylindrique de M. Fizeau, dans lequel l'une des armures dépasse à droite la bande de taffetas gommé, tandis que l'autre armure dépasse à gauche de la même quantité cette même bande. Lorsque ce condensateur se trouve enroulé sur le cylindre de bois qui lui sert de support, il présente donc en dessus et en dessous deux bordures métalliques, qui sont elles-mêmes superposées sur plusieurs autres bordures appartenant respectivement à une même armure. Si ces bordures de papier d'étain sont ensuite serrées sur le cylindre de bois au moyen de deux viroles de cuivre mises en relation avec l'interrupteur de l'appareil, il arrivera forcément que le fluide électrique se trouvera instantanément réparti sur toute la surface du condensateur, et il en résultera, suivant l'abbé de Laborde, une condensation plus énergique et plus prompte.

L'interrupteur de l'abbé de Laborde consiste dans un interrupteur de Neef à ressort oscillant entre deux électro-aimants, et dont le règlement peut se faire soit par l'écartement plus ou moins grand de deux vis-butoirs entre lesquelles oscille le marteau de fer doux, soit par l'intervention d'un barreau aimanté que l'on avance au-dessus de ce marteau, en présentant l'un ou l'autre des pôles. Il est clair que si le pôle de cet aimant fixe est tel que sa réaction sur le marteau soit concordante avec celle des électro-aimants, la vibration de l'interrupteur deviendra plus énergique, tandis qu'elle se ralentira si le magnétisme de l'aimant fixe contrarie l'action des électro-aimants. Quant aux vis-butoirs entre les-

quelles oscille le marteau de fer doux, elles sont tellement reliées avec les électro-aimants, que ceux-ci sont tour à tour mis en activité aux deux points extrêmes de la vibration, c'est-à-dire au moment du contact du vibrateur avec les vis-butoirs. De plus le marteau de fer doux de ce vibrateur est adapté à l'extrémité d'une lame d'acier afin d'amplifier la vibration et de prolonger la durée des contacts électriques.

Appareil de M. Hearder. — Dans le but d'analyser d'une manière plus complète la part que prend chacun des éléments des appareils d'induction dans la manifestation du phénomène, et aussi pour déterminer les meilleures conditions de ces éléments, M. Hearder, de Plymouth, a eu l'idée de les construire de manière qu'ils pussent être disjoints et se trouver indépendants les uns des autres. Par ce moyen, il devient facile de réparer l'instrument quand un accident dans l'isolation arrive, et ayant la faculté de varier les hélices inductrices, on peut disposer facilement l'appareil dans les conditions les plus convenable, eu égard aux caractères de la pile qu'on emploie. Du reste, M. Hearder a pris des précautions d'isolement analogues à celles que nous avons expliquées précédemment, et a multiplié le plus qu'il a pu la surface de son condensateur. Il a obtenu de cette manière des étincelles de 4 pouces anglais de longueur.

Appareil de M. Jean. — M. Jean, physicien amateur à Paris, n'a pas cherché à modifier scientifiquement l'appareil de Ruhmkorff, mais il s'est appliqué d'une manière toute spéciale à placer le circuit induit dans les conditions d'isolation les plus parfaites possible, et à étendre cette isolation à tous les accessoires de l'appareil. Comme substance isolante, il s'est servi d'essence de térébenthine ou d'un mélange résineux composé de bitume et de résine.

Dans les bobines de M. Jean l'hélice inductrice présente quatre rangées de spires superposées, et l'hélice induite cinquante rangées. Les fils dont il se sert pour ces deux hélices

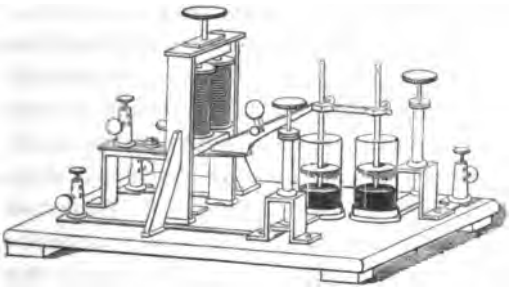
sont un peu plus fins que ceux employés par M. Ruhmkorff. Celui de l'hélice inductrice a 1 millimètre 1/2 de diamètre au lieu de deux, et celui de l'hélice induite a 0,25 de millimètre au lieu de 0,4.

Les différentes rangées de spires de l'hélice inductrice sont séparées les unes des autres par une feuille de papier buvard et celles de l'hélice induite par deux feuilles de ce même papier. Le tout est disposé verticalement dans un vase de grès de mêmes dimensions à peu près que la bobine et la dépassant même un peu en hauteur. Enfin, le vase lui-même est rempli d'essence de térébenthine, de telle sorte que la bobine entière, y compris même le noyau de fil de fer qui occupe son centre, est noyée entièrement dans l'essence.

Comme les étincelles pourraient s'échanger de l'une des extrémités du fil induit à l'autre au sortir de l'essence, ces extrémités sont enveloppées dans des tubes de verre qui aboutissent aux deux supports isolés formant les pôles de l'appareil.

Malgré toutes ces précautions l'appareil en question ne fournirait pas les résultats que nous avons annoncés, si avant l'immersion de la bobine dans l'essence on ne prenait pas le soin de dessécher convenablement les feuilles de papier buvard qui contiennent toujours un peu d'humidité. Pour obtenir ce desséchement, M. Jean introduit la bobine sous un récipient de machine pneumatique disposé de manière à permettre l'introduction d'un tuyau muni d'un robinet et communiquant d'une part avec le vase renfermant la bobine, de l'autre avec un flacon rempli d'essence. En faisant le vide sous le récipient après y avoir introduit une capsule remplie d'acide sulfurique anhydre, on finit par dessécher complétement l'appareil, et lorsque ce desséchement est jugé suffisant, on ouvre le robinet du tuyau ; alors l'essence se déverse immédiatement dans le vase où est plongée la bobine. De cette manière l'isolement est aussi complet que possible.

L'interrupteur dont se sert M. Jean est l'interrupteur à mercure de M. Foucault que nous avons décrit, page 470, t. I de



notre *Exposé*, et au règlement duquel est affectée la boule que l'on aperçoit dans la figure ci-dessus en avant de l'électro-aimant, laquelle boule est fixée sur le levier de l'interrupteur à l'aide d'une pince à vis. On comprend facilement que cette boule, étant placée plus ou moins haut sur ce levier, en augmente plus ou moins l'inertie, et permet de rendre plus ou moins prompts les mouvements produits. Toutefois, il est important de recouvrir les vases au mercure d'un couvercle ; car dans la réaction opérée par de forts courants le liquide saute au-dessus des bords de ces vases [1].

Quant au nouveau condensateur de M. Jean, il a une disposition particulière qui se rapproche de celle adoptée par MM. Poggendorff et l'abbé de Laborde ; il consiste dans une série de feuilles de papier buvard imprégnées de résine fondue entre lesquelles se trouvent placées des feuilles de papier d'étain formant le condensateur ; les numéros pairs de ces feuilles en dépassant d'un côté le papier isolant, et les

1. Les deux vases au mercure que l'on voit dans la figure constituent, comme je l'ai dit, un double interrupteur : l'un destiné au circuit de l'électro-aimant de l'interrupteur lui-même, l'autre au circuit inducteur de l'appareil d'induction.

numéros impairs en dépassant de l'autre côté ce même papier, forment deux séries de bandes métalliques qui, étant réunies ensemble de chaque côté au moyen de pinces, constituent une surface condensante assez considérable.

L'un des plus grands avantages des bobines à l'essence de M. Jean, c'est de permettre l'addition indéfinie d'éléments à la pile, sans que l'on ait à craindre aucune détérioration de l'appareil. On comprend en effet, que si la tension du courant induit devient telle que les couches de coton et de papier qui isolent les différents tours de spires de l'hélice soient traversées et trouées par les étincelles qui pourraient alors s'échanger directement entre les spires extérieures et les spires intérieures, l'isolement ne doit pas moins subsister après qu'avant, puisque ces trous se trouvent immédiatement bouchés par l'essence liquide. On a donc tout avantage à employer la disposition de M. Jean.

Pour obtenir avec cet appareil une forte charge de la part d'une batterie de Leyde, il faut employer certaines précautions qui sont la conséquence de l'excessive tension de ces sortes de courants. La disposition qui a le mieux réussi à M. Jean a été de composer sa batterie par la réunion en pile d'une série de condensateurs plans disposés d'après le système de M. Masson, c'est-à-dire avec rebords recouverts de résine. Pour obtenir des condensateurs de cette sorte on prend des carreaux de verre à vitre de 3 millimètres d'épaisseur sur une largeur, et une longueur d'environ 60 centimètres ; on colle sur les deux côtés de ces verres des feuilles de papier d'étain de plus petites dimensions, et disposées de manière à laisser tout autour d'elles un cadre de verre d'environ 5 centimètres de largeur. On plonge ensuite les bords de ces carreaux dans une petite auge remplie d'un mélange d'arcanson et de bitume fondus [1], jusqu'à ce que cette ma-

1. Ce mélange se compose de 1/4 de résine et de 3/4 de bitume. Le bitume n'y entre que pour rendre la couche isolante plus cassante.

tière recouvre un peu les bords de la feuille d'étain. Lorsque cet encadrement résineux a atteint une épaisseur suffisante et qu'il est refroidi, on réunit en pile tous ces carreaux, on les place dans une auge convenable, après avoir eu soin d'établir une communication métallique avec les armures, et l'on remplit l'auge de résine et de bitume fondus. Toutes les communications métalliques en rapport avec les armures paires sont ensuite réunies en faisceau dans un tube qui est lui-même luté dans la résine, et toutes les autres communications en rapport avec les armures impaires sont réunies également dans un autre tube. L'on obtient ainsi les deux points par lesquels doit s'opérer la charge.

Pour effectuer cette charge, il suffit de faire communiquer l'un des faiceaux de fils à un disque de cuivre isolé et légèrement verni, en ayant soin d'employer pour cela un gros fil recouvert de gutta-percha. On place à portée de ce disque une branche d'excitateur montée sur un support isolant et portant elle-même un manche isolant; puis on établit entre cette branche d'excitateur et le pôle intérieur de l'appareil d'induction devenu négatif une communication métallique, en ayant soin toutefois de mettre cette communication en rapport avec le second faisceau de fils de la batterie de Leyde.

Les appareils étant ainsi disposés, il ne s'agit plus, pour charger la batterie, que de placer le rhéophore extérieur de la bobine d'induction, qui devient alors pôle positif, à 6 centimètres environ du disque de la batterie. En présentant, en effet, la branche de l'excitateur à 3 centimètres de ce disque, on provoque au bout de quelques secondes une forte étincelle en tous points semblable à celle des décharges fournies par les batteries ordinaires. Bien plus, si on interrompt les communications avec l'appareil d'induction on peut obtenir deux ou plusieurs étincelles très-énergiques, même au bout de quelques minutes, si l'air ambiant est suffisamment sec.

M. Jean estime qu'avec la batterie isolée la charge peut se maintenir pendant 5 minutes.

On pourrait charger une batterie de Leyde ordinaire, en ayant soin d'envelopper dans des tubes de verre tous les conducteurs en rapport avec les armures internes des jarres, et de vernir fortement les parties de ces conducteurs qu'on est obligé de laisser nues. Il faut aussi recouvrir d'une couche très-épaisse de résine bituminée le bouchon des jarres et les parties de verre de ces jarres qui isolent leur armure externe. Cette disposition d'ailleurs ne peut être qu'avantageuse pour recueillir l'électricité des machines électriques à plateau de verre elle-mêmes.

Quand on veut percer une plaque de verre d'une grande épaisseur, plusieurs précautions particulières doivent être prises. Il faut, avant tout, confiner la décharge sur un point et l'empêcher de dévier en prenant un chemin plus long, il est vrai, mais beaucoup moins résistant que l'obstacle matériel qui s'oppose à la transmission de l'étincelle. Pour cela, on place les fils des rhéophores dans un tube de verre que l'on soude par l'extrémité où vient affleurer le fil sur la plaque à percer, au moyen d'un manchon de résine bituminée assez épais pour ne pas être traversé par l'électricité. De cette manière, les deux rhéophores forment pour ainsi dire corps avec le verre, et la décharge est alors forcée de suivre le plus court trajet. Pour qu'une étincelle puisse percer une lame de verre de 3 centimètres, il faut qu'elle ait, au minimum, 30 centimètres de longueur à l'air libre. Mais une chose assez curieuse à faire remarquer, c'est que cette perforation qui, d'ailleurs, s'effectue sans bruit, n'est pas immédiate ; ce n'est qu'après un certain nombre de fermetures du courant inducteur, faites lentement à la main, qu'elle se produit après avoir pour ainsi dire préparé son chemin par une perforation partielle s'effectuant principalement au pôle négatif. On voit, en effet, l'étincelle s'avancer successivement

dans le verre de ce côté, jusqu'à environ 2 millimètres; puis alors le verre cède et l'étincelle le traverse en produisant un phénomène physique qui tient de la fusion et de la compression, comme semblent le démontrer les traces de polarisation que le verre présente dans la partie perforée et qui se rapprochent de celles fournies par les verres trempés et comprimés.

Si l'électricité fournie par les appareils de M. Jean, est remarquable par sa tension, en revanche elle se fait remarquer par son peu de quantité. Aussi ces appareils ne sont-ils guère applicables pour les effets calorifiques et chimiques. On ne peut donc pas songer à les employer pour les diverses applications dont nous avons parlé et particulièrement pour les mines; mais pour les expériences de physique ils sont réellement très-précieux.

Nouvelle machine électrique en papier. — M. Jules Thore ayant remarqué que lorsqu'on repassait avec un fer chaud deux feuilles de papier superposées elles s'électrisaient assez fortement pour fournir la charge d'un condensateur, s'est imaginé d'appliquer ce principe à la construction d'une machine électrique en papier et à chaleur, qu'il dit être très-économique et assez énergique pour être appliquée à un grand nombre d'expériences.

Du reste les machines électriques en papier ne sont pas nouvelles, et nous avons vu, page 399, t. I, de notre *Exposé,* que M. Croissant, à Laval, en avait construit qui donnaient une forte dose d'électricité. Dernièrement, M. H. Cornillon envoyait à *L'Ami des Sciences* une lettre dans laquelle il rapportait plusieurs expériences assez curieuses qu'il avait faites sur les propriétés électriques du papier. D'après cette lettre il paraîtrait qu'une feuille de papier simplement frottée avec du drap pourrait donner lieu à quelques étincelles facilement visibles dans l'obscurité et à une adhérence telle qu'il aurait été possible de lever un poids de 1 gramme 1/2. Ces

propriétés électriques du papier, comme je l'ai déjà dit, ont été reconnues depuis longtemps, et je suis étonné que M. H. Cornillon semble dans sa lettre les avoir ignorées.

Générateur de M. Tardieu.—Tout le monde a entendu parler de la machine calorique ou thermogénérateur que MM. Beaumont et Mayer ont proposé d'employer pour la cuisson des aliments à l'armée alors que le combustible manque. Je ne défendrai pas l'importance de cette machine, que les uns ont vantée outre mesure et que les autres sans motifs sérieux ont dénigrée à outrance. Toujours est-il que M. Tardieu en voyant la puissance de frottement de cette machine, a cherché à l'utiliser en même temps comme générateur d'électricité en isolant convenablement les supports des pièces mobiles. On obtiendrait ainsi, dit-il, une machine fournissant la chaleur et l'électricité en même temps. Reste à savoir maintenant à quoi M. Tardieu utilisera cette électricité qui, étant de nature statique, ne pourra être employée ni pour l'électromagnétisme ni pour les réactions chimiques.

II

TECHNOLOGIE ÉLECTRIQUE

DES CIRCUITS ET DES COURANTS.

Depuis la publication de mon ouvrage, de grandes expériences sur les circuits sous-marins ont eu lieu, et ont éclairé d'un jour nouveau cette question si importante de la télégraphie électrique. La pose du câble méditerranéen, qui devait joindre la France à l'Algérie, après avoir manqué deux fois, a fini par s'effectuer, et le câble transatlantique, qui a nécessité, pour être transporté, les deux plus grands navires des marines anglaise et américaine, est maintenant un fait

accompli. On ne devra donc pas s'étonner, si, après de tels résultats, nous nous étendons d'une manière toute particulière sur la question des câbles sous-marins, qui est devenue en ce moment une question d'actualité.

Câble transatlantique. — Si les découvertes inattendues et les travaux gigantesques qui ont été faits dans notre siècle ne nous avaient pas habitués au merveilleux, nous pourrions considérer l'établissement du télégraphe transatlantique comme la huitième merveille du monde, merveille par les effets presque surnaturels qu'il est appelé à fournir, merveille par les difficultés sans nombre qu'a exigées son installation, merveille même par son prix de revient, qui dépasse 30 millions. Il est vrai que cette merveille, comme une grande coquette qui veut faire estimer plus haut ses faveurs, a trouvé bon de se détraquer quelques jours après sa réalisation définitive, et déjà bon nombre d'esprits craintifs de désespérer de la réussite de l'entreprise; mais il est plus que probable que cet accident sera bien vite réparé, et qu'au moment même où nous publierons ces lignes, nous admirerons dans toute leur plénitude les résultats merveilleux que les expériences déjà faites nous ont permis d'espérer.

Pour qu'on puisse apprécier à sa juste valeur cette entreprise digne des Titans, et qu'on puisse rendre justice aux hommes à la persévérance desquels on en doit la réalisation, il nous semble à propos d'entrer dans quelques détails sur l'histoire de la télégraphie sous-marine et les difficultés que présente son établissement, tant au point de vue matériel qu'au point de vue des réactions physiques elles-mêmes. Nous avons déjà, il est vrai, traité en partie cette question dans le premier volume de notre *Exposé;* mais le lecteur nous saura gré, nous en sommes sûr, de remettre sous ses yeux ce qui peut avoir rapport à cette belle application de l'intelligence humaine.

C'est, comme nous l'avons vu, M. Wheatstone, l'illustre

inventeur des télégraphes à aiguilles et à cadran, qui, en 1840, a eu la première idée de la télégraphie sous-marine, et qui a indiqué les moyens de construire un câble électrique dans de bonnes conditions. A cette époque la télégraphie électrique ne faisait que prendre naissance, et l'on ne se préoccupait en Angleterre que d'établir des réseaux télégraphiques entre les grands centres de commerce et d'industrie. La question n'était pas encore assez mûre pour qu'on songeât à franchir les mers. Ce ne fut qu'en 1849 que le premier câble fut posé entre Douvres et Calais par J. Brett, et, dans la construction de ce câble, cet ingénieur n'a fait que suivre littéralement les instructions données par M. Wheatstone. Depuis cette époque, plusieurs autres lignes sous-marines ont été établies, et elles forment aujourd'hui un total de plus de 4,560 kilomètres.

C'est toujours en procédant du petit au grand que les découvertes importantes finissent par réaliser les immenses résultats qu'elles sont appelées à fournir, résultats auxquels on refuserait d'ajouter foi s'ils étaient annoncés tout d'abord sans avoir l'appui de l'expérience. Quand le câble de Douvres à Calais fut posé, on s'occupa d'en établir un plus long, de Douvres à Ostende, puis un autre, de Suffolk à La Haye. Les nécessités de la guerre de Crimée firent entreprendre celui de Varna à Balaklava, et enfin on chercha à établir celui de France en Algérie. Dès l'origine, on avait bien parlé de relier télégraphiquement l'Europe à l'Amérique; mais ce projet parut tellement gigantesque, que personne ne pouvait croire à sa réalisation. Peu à peu, à mesure que les lignes télégraphiques sous-marines se sont multipliées, on s'est familiarisé avec cette idée, ou on ne la traita plus de rêve fantastique, et il se forma bientôt une compagnie puissante qui commença les études, et qui, après avoir reconnu la possibilité de la solution matérielle du problème, commanda définitivement le câble.

Au premier abord, quand on ne considère un câble sous-marin que comme un mode ordinaire de liaison télégraphique, on peut croire que le problème ne présente d'autres difficultés que celles dépendant de sa fabrication, et l'on se demande pourquoi l'établissement des lignes sous-marines ne réussit pas toujours. Sans doute, à ce point de vue, tout le problème se réduit à une question d'outillage; mais c'est qu'en dehors des difficultés inhérentes à cette fabrication, on a à vaincre celles beaucoup plus grandes de la pose du câble et des réactions physiques provoquées par la circulation du fluide sur lui-même. Bien que ces deux difficultés aient été résolues dans l'établissement des lignes que l'on possédait déjà, il était à craindre que, pour des lignes plus longues, elles ne fussent invincibles. Or, les deux essais infructueux tentés pour la pose du câble méditerranéen et du câble transatlantique lui-même prouvent bien que les difficultés que nous signalons ne sont pas exagérées. Nous allons même voir que, pour l'une d'elles, rien ne pouvait indiquer avant l'expérience si le problème était soluble ou non.

Tout le monde sait ce que c'est qu'une bouteille de Leyde et comment le fluide électrique qui charge les feuilles métalliques placées à l'intérieur de cette bouteille réagit sur sa garniture extérieure pour attirer sur la surface du verre l'électricité de nom contraire, et provoquer par là ce qu'on appelle une *condensation*. Dans cet état, les fluides électriques peuvent s'accumuler en grande quantité sur les deux surfaces de verre de la bouteille, et la réaction attractive de ces deux fluides l'un sur l'autre, au travers du verre, est telle, qu'on peut enlever les garnitures métalliques sans faire disparaître la charge électrique. La décharge n'a lieu, en effet, que quand on met en communication les deux fluides par un conducteur métallique. Pareil effet se manifeste dans les câbles sous-marins, ainsi que l'a constaté, il y a quatre ans, l'illustre Faraday; et l'on en comprendra immédiatement la

raison, si l'on considère que le fil de cuivre recouvert de gutta-percha constitue l'armure interne d'une immense bouteille de Leyde qui, pour une longueur de 160 kilomètres (longueur du câble sur lequel a expérimenté le savant anglais), a une surface de 8,300 pieds carrés. Dans cette bouteille d'un nouveau genre, le verre est remplacé par la gutta-percha, et l'armure externe ou garniture externe est représentée par l'eau de la mer et les torons de fer dont on entoure le câble pour le protéger. Cette dernière armure présente alors une surface de 33,000 pieds carrés.

De cette disposition des câbles sous-marins il résulte que, pour chaque charge électrique qu'on opère, un effet de condensation se manifeste sur les parois de l'enveloppe de gutta-percha, et cette condensation a pour effet, non-seulement d'affaiblir dans le premier moment de la décharge l'intensité du courant dans sa réaction sur les appareils télégraphiques, mais encore de diminuer la vitesse de transmission du fluide électrique. De plus, comme les appareils télégraphiques, par leur communication avec le sol, établissent une relation métallique entre les deux armures de la bouteille de Leyde en question (le câble sous-marin), c'est-à-dire entre l'eau de la mer et le fil de cuivre recouvert de gutta-percha, il en résulte une décharge particulière qui se manifeste en dehors de l'action du courant et qui succède à celle-ci.

Ainsi, par suite de la réaction physique du fluide électrique sur lui-même, les câbles sous-marins provoquent l'existence de trois éléments contraires qui, en intervenant puissamment dans les transmissions télégraphiques, concourent à les troubler : 1° la diminution d'intensité du courant, par suite de son induction latérale, laquelle se manifeste précisément au moment où ce courant devrait avoir le plus d'énergie; 2° la diminution de vitesse de l'électricité, qui, au lieu de parcourir 45,000 lieues par seconde, comme cela a

lieu sur les lignes aériennes, n'en parcourt plus que 200 [1] ; 3° la décharge due à la condensation électrique, qui, dans un conducteur de 500 lieues, prolonge la charge primitive de 7 secondes (suivant M. Varley). Il résulte de cette triple réaction que, dans les systèmes ordinaires de la télégraphie, et avec un câble sous-marin de 500 lieues, il faudrait 50 secondes pour produire un signal, et comme il faut plusieurs signaux pour former une lettre, un mot exigerait, pour être transmis, un temps moyen de 3 minutes; encore serait-on exposé à des irrégularités nombreuses, résultant de la décharge de l'électricité condensée. Pour parer à ces inconvénients, M. Varley, ingénieur anglais, a combiné un système télégraphique particulier, dont nous avons déjà parlé et dans lequel le courant transmis étant alternativement renversé, et la charge d'électricité statique déversée avant son entrée dans les appareils, on n'a plus à lutter que contre la faiblesse d'action du courant, due à son induction latérale; mais ce dernier inconvénient a pu être atténué, dans les lignes télégraphiques établies jusqu'ici, au moyen de relais galvanométriques et de perfectionnements de détail apportés aux appareils eux-mêmes.

Bien que les télégraphes de M. Varley aient résolu jusqu'à présent la question de la télégraphie sous-marine, il n'était pas à dire pour cela qu'ils pussent réagir aussi efficacement sur des lignes longues comme celle qui réunit l'Europe à l'Amérique, car les réactions contraires que nous venons d'étudier pouvaient alors atteindre une intensité telle que la paralysation complète du courant en fût la conséquence im-

1. Un fait assez curieux, dans ce ralentissement de vitesse, de l'électricité, c'est que les retards occasionnés croissent avec la longueur des câbles dans un rapport arithmétique, lorsque ces longueurs suivent un rapport géométrique. Voici quels sont ces retards :

Pour 83 milles anglais, 0″08; pour 166 milles, 0″14; pour 249 milles, 0″36; pour 490 milles, 0″79; pour 535 milles, 0″84; pour 1,020 milles, 1″20.

médiate. Jusqu'au moment de la confection du câble transatlantique, les savants eux-mêmes n'étaient pas d'accord sur les conditions dans lesquelles ce câble devait être construit pour que les réactions contraires en question fussent à leur minimum. Selon M. Thomson, le conducteur métallique recouvert de gutta-percha devait être *le plus gros possible*, attendu que, suivant lui, l'induction exercée par le fluide électrique, dans ce cas, est *péristaltique*. Pour faire comprendre la portée de ce mot et des calculs qu'il a faits dans cette hypothèse, il compare les réactions dont nous avons parlé à celle d'un tuyau de caoutchouc rempli de liquide soumis à une pression et réagissant sur d'autres tuyaux, également de caoutchouc, auxquels il serait lié, et qui seraient également remplis de liquide en repos. Il se déterminerait alors, selon M. Thomson, un gonflement progressif dans le premier tuyau, lequel déterminerait un mouvement correspondant dans les seconds, et ce mouvement serait d'autant moins prononcé que le tuyau qui subit la pression est relativement plus gros. Selon M. Wittehouse, autre physicien anglais très-compétent dans ces sortes de questions, le conducteur métallique dont il s'agit devait, au contraire, être le plus petit possible, parce que, moins était grande sa surface, moins devait être développé l'effet de la condensation. Ce dernier raisonnement était très-logique; mais si, par cette disposition des câbles, les réactions d'induction pouvaient être diminuées dans leur intensité, les courants électriques appelés à les traverser devaient éprouver, par suite de la petitesse de la section du conduteur, une beaucoup plus grande résistance, et devaient perdre, par ce fait seul, de leur intensité. Quelle part devait être faite à chacune de ces deux exigences? C'est ce que l'expérience seule pouvait décider.

Dès l'année dernière, la question était plus avancée à ce point de vue; car, bien que l'immersion du câble n'eût pas

réussi, l'on avait pu acquérir à peu près la certitude qu'avec les dimensions données au fil conducteur de ce câble, on devait correspondre d'Amérique en Europe. Voici, en effet, comment on avait pu s'assurer de ce fait.

Les deux grands navires à bord desquels étaient enroulés les deux moitiés du câble transatlantique s'étaient réunis, avant leur expédition, dans le port de Queenstown (Irlande). Là on avait réuni les bouts de chaque câble, de manière à former un circuit unique, long de 850 lieues environ. On avait pu alors s'assurer qu'avec une pile de 40 grands éléments, de Smée, réagissant sur un fort appareil d'induction, on obtenait une force attractive de 1gr 625, c'est-à-dire une force plus que suffisante pour la marche des appareils télégraphiques. De plus, on avait constaté que, malgré un retard de près de deux secondes dans la vitesse de la transmission électrique, les signaux pouvaient être transmis assez promptement, parce que, à cause de la grande longueur du câble, plusieurs ondes électriques pouvaient exister simultanément dans le fil et fournir successivement les signaux en rapport avec chacune d'elles. Toutefois, il avait été démontré que l'on ne pouvait transmettre plus de trois signaux en deux secondes. Sans doute ces données ne pouvaient être qu'approximatives, puisque les expériences avaient été faites sans que le câble fût immergé, et alors qu'il était enroulé sur lui-même. Mais comme l'enveloppe de fer qui le recouvrait pouvait jouer un rôle analogue à celui de l'eau de mer dans les réactions contraires dont nous avons parlé, les déductions précédentes pouvaient être regardées comme très-probables.

La suite a démontré en effet, qu'on ne s'était pas trompé, du moins dans la croyance en la solution du problème. Seulement, au lieu de 2 secondes pour le temps de transmission d'un signal à travers la ligne transatlantique, on a reconnu qu'il fallait environ de 7 à 10 secondes. Mais une chose assez curieuse que l'on a observée et qui se rattache vraisembla-

blement au mode de propagation du fluide électrique par ondes dans ces sortes de conducteurs, c'est que l'action électrique au lieu de se manifester spontanément dans toute son intensité au moment où elle atteint le récepteur, comme dans les transmissions ordinaires, passe par différentes phases de croissance et de décroissance qui lui donnent un caractère tout particulier. «La différence entre un signal transmis sur une ligne de peu d'étendue et un autre expédié par le câble transatlantique est à peu près la même, dit un journal de Boston des jours derniers, que celle qui existe entre le son d'un sifflet et la note grossissante et prolongée d'un orgue pendant six ou même dix secondes; un trait distinctif qu'il importe d'observer est ce même prolongement du signal; il atteint son intensité la plus grande au milieu de sa période et la perd ensuite par les mêmes degrés à travers lesquels il l'avait acquise. »

Il résulte toutefois de ce nouveau genre de manifestation électrique une difficulté nouvelle dans la transmission des dépêches, qui, en s'ajoutant aux inconvénients dus à la lenteur de transmission du fluide et aux courants de retour, a amené une extrême confusion dans les signaux échangés. Il paraît même qu'on n'a pu jusqu'ici obtenir que quelques fragments de phrases incomplètes, quoi qu'en disent les annonces pompeuses des journaux américains. Il est certain que ces obstacles ne sont que momentanés et qu'ils s'aplaniront quand on aura étudié davantage ces réactions, et surtout que l'expérience aura appris aux opérateurs télégraphiques à combiner les manipulations de manière que les points, les traits et les espaces de l'alphabet Morse qu'ils doivent transmettre se trouvent mis en rapport avec les déformations produites; mais, comme on le voit, le problème de la télégraphie sous-marine n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire *à priori*, même au point de vue physique.

Pour remédier aux inconvénients que je viens de signaler,

on propose déjà différents moyens : d'abord, d'employer de forts courants induits au lieu de courants de pile, attendu 1° que les courants induits paraissent se propager plus rapidement que les courants voltaïques, et d'autant plus rapidement qu'ils sont plus intenses; 2° que, fournissant des courants alternativement renversés, ils sont dans les conditions les meilleures pour neutraliser l'électricité condensée après chaque émission[1]; 3° que leur induction latérale est moindre que celle des courants voltaïques; 4° qu'ils peuvent vaincre une bien plus grande résistance. D'un autre côté, on prétend qu'en mettant à profit le phénomène de la succession des ondes, on pourrait, avec une certaine habitude, parvenir à envoyer successivement, sans qu'il soit besoin de décharger le fil, les différents signaux qui composent un mot, ce qui augmenterait considérablement la rapidité des transmissions. On propose encore d'utiliser le retour du courant qui a lieu lorsque après une fermeture rapide de ce courant on met le fil en contact avec le sol, à la correction d'un signal erroné envoyé trop précipitamment. Enfin, en s'appuyant sur cette expérience de M. Wheatstone, qui démontre que la déviation d'un galvanomètre interposé dans un circuit isolé dépend de la longueur du fil au delà de cet instrument et non de celle du fil interposé entre la pile et l'instrument, M. Martin de Brettes croit que les fils sous-marins devraient être doubles, l'un qui relierait la pile au télégraphe, l'autre qui serait mis en rapport simplement avec le télégraphe pour augmenter son énergie et permettre, au moyen d'un commutateur, de mettre les deux pôles de la pile successivement en contact avec chaque extrémité du circuit. Cette manœuvre permettrait, suivant M. Martin, d'en-

1. M. Wheatstone a constaté que sur une longueur de 1800 kilometres de fil isolé, il fallait une seconde et demie pour la transmission d'une décharge électrique, alors que dans une seconde on pouvait faire passer, à travers le même fil, huit courants alternativement renversés.

voyer rapidement dans le circuit des courants inverses qui remettraient le fil à l'état neutre et accéléreraient la transmission des dépêches.

Je ne sais jusqu'à quel point cette dernière proposition est motivée, car, si j'ai bonne mémoire, l'expérience de M. Wheatstone ne s'applique qu'aux courants de charge dans des fils isolés, et je ne suppose pas que M. Martin de Brettes veuille supprimer la transmission par la terre. Il est probable, du reste, que d'ici à peu de temps bien d'autres moyens seront encore proposés, et nous en reparlerons à la fin du volume, s'ils ont amené quelques résultats satisfaisants. Nous allons maintenant examiner les différentes questions qui se rattachent à l'organisation matérielle du câble qui nous occupe.

Le câble transatlantique n'a qu'un seul fil conducteur de 2 millimètres de section; mais ce fil est composé de sept petits fils de cuivre tressés ensemble et ayant chacun 8/10 de millimètre. Cette division du conducteur a l'avantage de prévenir les chances de solution de continuité ou d'inégalité de résistance au passage du courant qu'un fil unique peut présenter par suite des pailles ou autres défauts de contexture ou de pureté du métal; d'ailleurs un conducteur ainsi établi offre une flexibilité et une élasticité qu'un fil unique d'une section équivalente ne posséderait pas.

La gaîne isolante qui renferme ce conducteur se compose d'abord d'un triple fourreau de gutta-percha, qui porte son diamètre à 3/8 de pouce anglais, et d'un autre fourreau très-épais en étoupe de coton imbibée de poix, de goudron, d'huile et de suif. C'est sur ce dernier revêtement que se trouve appliquée l'armure de fer destinée à protéger le câble non-seulement au fond de la mer, mais pendant l'opération très-difficile de l'immersion. Cette armure dans le câble transatlantique se compose de 18 cordons ou torons formés chacun de 7 fils de fer de 1/16 de pouce tordus ensemble,

et constitue un câble de fer superposé au câble isolé. Le poids de ce câble par mètre courant est d'environ 630 grammes, et son diamètre total de 16 millimètres.

Pour faire comprendre l'immense travail qu'a entraîné sa confection, nous dirons que la longueur totale des fils de l'enveloppe mis bout à bout est de 124,000 lieues, c'est-à-dire une fois et un tiers la distance de la terre à la lune. Pourtant cet immense travail a été exécuté par deux mécaniciens anglais, MM. Glass et Eliott, de Greenwich, et Newall, de Bikenhead. Dans les ateliers du premier de ces mécaniciens, 21 machines étaient employées rien qu'à la confection de l'enveloppe, et convertissaient chaque jour (de 24 heures) 2,058 milles de fil en 294 milles de cordon, ce qui ne faisait guère que le recouvrement de 10 milles de câble. Le coût de cette fabrication a été de 485 livres sterling (12,125 francs) par mille[1].

Nous avons déjà vu (tome Ier, page 187) que pour pouvoir transporter et immerger un câble d'une certaine longueur, il fallait une organisation spéciale des navires. En général, le câble est déposé sur un ou plusieurs rouleaux tournant à fond de cale. Au sortir de cette cale, il est reçu par deux fortes roues en fonte à gorge profonde sur chacune desquelles il fait trois tours pour résister à l'entraînement de la

1. Voici les détails des dépenses faites pour cette immense entreprise, sans parler des frais d'immersion :

	Livres.
Prix, par mille, du câble des eaux profondes.....	200
Id. de l'enveloppe de fer et gutta-percha..	265
Id. de la couche de goudron.....	20
Prix du mille du câble complet.....	485
Total, pour 2,500 milles.....	12,125 00
Id. pour 10 milles de câble plus fort.....	145 00
Id. pour 25 milles de câble formant jonction au rivage.....	322 50
Prix total.....	1,259,250

portion mise à l'eau. Ces roues sont d'ailleurs pourvues de puissants freins qui modèrent au besoin leur mouvement. Mais, quelle que soit la lenteur de ce mouvement, le frottement énorme qui se trouve développé exige un arrosage perpétuel des parties frottantes qui peut occuper jusqu'à vingt hommes. Le câble glisse à l'eau par l'avant du navire. Une troisième roue, placée à l'arrière, sert à le guider et à le maintenir dans les mouvements de roulis et de tangage. Enfin des compteurs avec indicateurs, fixés sur les roues, marquent à chaque instant la longueur du câble immergée. Inutile de dire que des appareils télégraphiques, placés à terre et à bord des navires qui transportent le câble, permettent d'apprécier à tous moments l'état d'isolement de la ligne, et de fournir les indications nécessaires sur la marche de l'opération.

Cette disposition, quelque ingénieuse qu'elle pût être, n'a pas satisfait complétement les ingénieurs du télégraphe transatlantique, car ils ont cru devoir lui en substituer une autre que nous allons décrire, mais qui n'avait pas encore atteint, à ce qu'il paraît, le degré de perfection nécessaire, puisqu'une fausse manœuvre de M. Wright avait suffi, ainsi que l'a assuré M. Morse, pour occasionner, l'année dernière, la rupture du câble, et qu'on s'est trouvé obligé de la perfectionner encore cette année avant d'obtenir le résultat définitif.

Voici les inconvénients qu'offrait la disposition ancienne : 1° le câble devait s'user par son frottement contre les bords de la roue et la muraille du bâtiment; 2° tant que la profondeur d'eau restait la même, le mouvement des roues pouvait se régler avec des freins, et le déroulement pouvait s'opérer facilement; mais, dans certaines vallées sous-marines très-profondes, le câble pouvait tirer une force égale au poids de la partie suspendue; alors, si le changement de niveau avait lieu, il devait entraîner avec une effrayante rapidité la portion restée à bord du navire, et, dans ce cas, les freins deve-

naient impuissants pour arrêter ou régler le mouvement. Avec des freins assez puissants, il est vrai, on aurait pu atteindre les sommets voisins de deux montagnes sous-marines; mais alors, si la profondeur eût été telle que le câble ne pût reposer au fond de la mer, il aurait décrit entre ces deux points fixes une courbe analogue à celle d'un fil suspendu dans l'air, et, partant, il se serait trouvé dans des conditions de rupture inévitables; 3° les anneaux du câble pouvaient se superposer dans les gorges des roues et pouvaient causer par là un entortillement nuisible à sa solidité; 4° la grande chaleur développée par le frottement des différentes parties de la machine et du câble exigeait le concours d'un trop nombreux personnel pour maintenir l'appareil dans un état de fraîcheur relative par une continuelle humectation.

MM. Rankine et Thompson ont cherché à obvier à ces inconvénients au moyen d'un procédé dont voici un exposé succinct :

Pour rendre impossible l'entortillement des circuits du câble, ces ingénieurs ont employé, au lieu de cylindres pleins, des cylindres pourvus de canaux circulaires disposés en hélice; une bande de tôle enroulée entre chacune des spires de cette hélice empêchait les tours du câble de se superposer. Ces cylindres étaient placés verticalement et à une élévation suffisante au-dessus du pont du navire pour que le câble, en quittant les spires dans lesquelles il se trouvait engagé, pût s'immerger directement dans la mer sans être obligé de glisser sur l'avant.

Les freins destinés à régler la vitesse du déroulement avaient aussi une disposition particulière; ils étaient reliés à une espèce de régulateur à force élastique, mis en jeu par la machine à vapeur du navire, et qui pouvait maintenir toujours égale la vitesse de descente du câble. De plus, le liquide employé pour mettre en jeu ce régulateur était projeté au moyen

d'un corps de pompe sur les parties échauffées de la machine de déroulement.

Quant au transport du câble transatlantique lui-même, il présentait une difficulté réelle en raison de son immense longueur, qui l'empêchait d'être chargé sur un seul navire, et de l'impossibilité dans laquelle on devait se trouver d'arrêter l'opération à un moment donné. Il a fallu, en effet, le couper en deux et avoir recours pour le transporter aux deux plus grands navires à vapeur des marines anglaise et américaine, *l'Agamemnon* et *le Niagara*, jaugeant chacun environ 5,000 tonneaux. Mais là n'était pas encore toute la question. Comment le raccordement des deux moitiés du câble ainsi embarquées devait-il se faire? où devait-il avoir lieu? et dans quel sens les vaisseaux devaient-ils opérer le dévidage? Telles étaient les questions qu'il s'agissait de résoudre avant de commencer l'opération. Après de longues disussions, on décida, lors de la première immersion, que les vaisseaux navigueraient de concert l'un avec l'autre, que l'un laisserait défiler son câble jusqu'à complet épuisement, en ayant soin, quelque temps avant la fin du dévidage, d'opérer le raccordement des deux tronçons, et que l'autre navire succéderait au premier après l'immersion de la première moitié. La rupture du câble, à 100 milles de Valentia, a empêché de s'assurer si ce système était bon ou mauvais, mais le raisonnement montre qu'il était tout au moins fort chanceux, car en admettant que le mauvais temps surprît les deux navires vers la fin de la première opération, la marche de concert de ces navires devenait impossible, et la jonction des deux tronçons ne pouvait plus être exécutée en temps opportun. Cet inconvénient frappa tellement les ingénieurs, qu'ils crurent devoir changer cette année le système adopté primitivement. En effet, au lieu d'effectuer la soudure des deux tronçons après la pose de l'un d'eux, ils résolurent de transporter ces deux tronçons eux-mêmes sur le point correspon-

dant au milieu de la ligne que devait occuper le câble transatlantique, d'opérer là leur soudure et de faire défiler simultanément chaque bout dans deux directions opposées. Ce fut dans ces conditions que fut entreprise l'expédition du 28 juillet, qui, cette fois, devait être couronnée d'un plein succès, et se terminer à la satisfaction générale. Les épisodes de cette brillante opération sont trop intéressants pour que nous les passions sous silence, et nous nous empressons de rapporter ici la relation textuelle de l'un des témoins oculaires qui a été publiée dans le *Times :*

« Nous sommes arrivés au rendez-vous le mercredi 28 juillet, exactement onze jours après notre départ de Queenstown. Les autres bâtiments de l'escadre furent aperçus vers le soir, mais à une telle distance que l'*Agamemnon* ne put les atteindre que le lendemain matin, à dix heures. Nous fûmes accablés de questions sur la cause de notre retard. Tout le monde croyait que nous avions échoué en sortant de Queenstown. Le *Niagara* était arrivé au rendez-vous le vendredi 23, le *Valorous* le dimanche 25, le *Gorgon* le mardi 27. Le temps était beau et d'un calme parfait; on se mit donc à attacher ensemble les deux bouts du câble sans perdre de temps. On fit passer l'extrémité du câble du *Niagara* sur l'*Agamemnon*.

« Vers midi la soudure était faite; elle portait une masse de plomb destinée à servir de poids. Le plomb se détacha et tomba à l'eau au moment où on allait jeter le câble à la mer. On ne trouva sous la main qu'un boulet de 32 qu'on fixa au point de jonction des deux bouts du câble, et tout l'appareil fut lancé à la mer sans autre formalité et même sans attirer l'attention, car ceux qui étaient à bord avaient trop souvent assisté à cette opération pour avoir grande confiance dans son succès final. On laissa couler 210 brasses de câble, afin que la soudure se trouvât suffisamment au-dessous du niveau

de l'eau ; puis on donna le signal du départ, et le *Niagara* et l'*Agamemnon* partirent en sens inverse. Pendant les trois premières heures, les bâtiments marchèrent très-lentement et déroulèrent une grande longueur de câble ; ensuite l'*Agamemnon* alla en augmentant de vitesse jusqu'à ce qu'elle eût atteint cinq nœuds à l'heure. Le câble se dévidait à raison de six nœuds à l'heure ; il ne marquait sur le dynamomètre qu'une tension d'une centaine de livres.

« Un peu après six heures, on vit une très-grande baleine s'approcher rapidement du navire ; elle battait la mer et faisait voler l'écume autour d'elle. Pour la première fois, il nous vint à l'idée que la rupture du câble, lors de la dernière tentative, pouvait bien être le fait d'un de ces animaux. La baleine se dirigea pendant quelque temps droit sur le câble, et nous ne fûmes tranquillisés qu'en voyant le monstre marin passer lentement à l'arrière ; il rasa le câble à l'endroit où il plongeait dans l'eau, mais sans lui causer aucun dommage.

« Tout alla bien jusqu'à huit heures ; le câble se déroulait avec une régularité parfaite, et, pour prévenir tout accident, on veillait avec soin à ce que le dynamomètre ne marquât pas une pression de plus de 1,700 livres, ce qui n'était pas le quart du poids que pouvait porter le câble. Un peu après huit heures, on découvrit une avarie dans le câble enroulé sur le pont. M. Canning, l'ingénieur de service, n'avait pas à perdre un instant, car le câble se déroulait si rapidement que la portion endommagée devait sortir du vaisseau dans l'espace d'environ vingt minutes, et l'expérience avait montré qu'il était impossible d'arrêter le câble ou même le navire sans courir le risque de voir tout l'appareil se briser. Juste au moment où les réparations allaient être terminées, le professeur Thompson annonça que le courant électrique avait cessé, mais que l'isolement était toujours complet. On sup-

posa naturellement que c'était le morceau de câble détérioré qui interrompait le courant, et on le coupa aussitôt pour le remplacer par une soudure.

« A la consternation générale, l'électromètre prouva que l'interruption se manifestait sur un point du câble qui était déjà dans l'eau à environ 50 milles du bâtiment. Il n'y avait pas une seconde à perdre, car il était évident que la portion du câble qu'on avait coupée allait dans quelques instants se trouver déroulée et jetée à la mer, et dans ces quelques instants il fallait faire une soudure, opération longue et difficile. On arrêta le navire sur-le-champ, et on ralentit la marche du câble autant que cela se pouvait faire sans danger. A ce moment, l'aspect que présentait le bâtiment était très-extraordinaire. Il paraissait impossible, même avec la plus grande diligence, de finir le travail à temps.

« Tout le monde à bord était rassemblé dans l'entre-pont autour du câble enroulé et le surveillait avec la plus grande anxiété à mesure qu'une toise après l'autre descendait à la mer et rapprochait de plus en plus le moment où les ouvriers verraient le morceau sur lequel ils travaillaient leur échapper des mains. Dirigés par M. Canning, ils se dépêchaient comme des hommes qui comprennent que la vie ou la mort de l'entreprise dépendait d'eux. Néanmoins tous leurs efforts furent inutiles, et l'on dut avoir recours à la dernière ressource, celle d'arrêter le câble, auquel le vaisseau resta pendant quelques minutes comme suspendu. Heureusement ce ne fut que l'affaire d'un instant; car la tension augmentait continuellement et ne pouvait tarder à produire une rupture.

« Lorsque la soudure fut terminée et que l'on put recommencer à laisser le câble se dérouler, l'émotion produite par le danger que l'on avait couru s'apaisa peu à peu. Mais le courant électrique n'était pas encore rétabli. On résolut donc de dérouler le câble aussi lentement que possible, et d'at-

tendre six heures avant de considérer l'opération comme tout à fait manquée, afin de voir si l'interruption du courant ne cessait pas d'elle-même. On regardait les aiguilles avec la plus grande anxiété, et lorsqu'on les vit tout à coup ne plus indiquer le moindre courant, on crut que le câble était rompu ou que l'isolement était détruit.

« On fut donc agréablement surpris lorsque trois minutes plus tard l'interruption disparut et que les signaux du *Niagara* arrivèrent par intervalles réguliers. Ce fut une grande joie pour tout le monde : mais la confiance générale dans le succès de l'entreprise était ébranlée, parce que l'on comprenait qu'un semblable accident pouvait se renouveler à chaque instant.

« Vendredi 30, tout alla bien. Le bâtiment filait 5 nœuds et le câble 6. L'angle qu'il faisait avec l'horizon en sortant du vaisseau était de 15 degrés, et le dynamomètre marquait une tension de 1,600 à 1,700 livres.

« A midi, nous étions à 90 milles du point de départ, et nous avions déroulé 135 milles de câble. Vers le soir, le vent souffla avec assez de violence, et l'on descendit sur le pont les vergues, les voiles, enfin tout ce qui pouvait offrir quelque prise au vent, Le bâtiment, toutefois, ne pouvait avancer que très-difficilement, à cause des vagues et du vent qui lui était contraire ; en même temps l'énorme quantité de charbon que l'on consommait semblait indiquer que l'on serait obligé de brûler les mâts pour arriver jusqu'à Valentia. Le lendemain, le vent était plus favorable, et l'on put épargner un peu de combustible. Samedi, dans l'après-midi, la brise fraîchit encore, et vers la nuit la mer était devenue tellement grosse qu'il semblait que le câble ne pourrait tenir.

« On fut obligé de surveiller avec la plus grande attention la machine servant à le dérouler, car un seul moment d'arrêt, alors que le vaisseau était soulevé par les vagues pour retomber ensuite, aurait suffi pour causer un accident. M. Hear et

M. Moore, les deux ingénieurs chargés du dynamomètre, veillaient alternativement pendant quatre heures. Néanmoins le câble, qui n'était qu'un simple fil à côté des vagues énormes dans lesquelles il plongeait, continuait à tenir bon et s'enfonçait dans la mer en ne laissant derrière lui qu'une ligne phosphorescente.

« Dimanche, le temps était toujours aussi mauvais; de gros nuages couvraient le ciel, et le vent continuait à balayer la mer. A midi, nous étions à 52 degrés de latitude nord, et 23 degrés de longitude ouest, ayant fait 120 milles depuis la veille, et 350 milles depuis notre départ. Nous avions passé le point où la profondeur est la plus grande; elle est en cet endroit de 240 brasses.

« Lundi, la mer n'était pas meilleure, et ce n'est que grâce aux efforts infatigables de l'ingénieur qu'on empêcha la machine de s'arrêter à mesure que le bâtiment était soulevé par les vagues. Une ou deux fois elle s'arrêta réellement, mais heureusement elle reprit son mouvement à temps.

« Il était naturellement impossible d'arrêter le câble, et, bien que le dynamomètre marquât de temps en temps 1,700 livres, il était le plus souvent au-dessous de 1,000, et quelquefois il marquait zéro, et le câble coulait alors avec toute la vitesse que lui imprimait son propre poids et la marche du navire. Cette vitesse n'a jamais dépassé 8 nœuds à l'heure, le vaisseau filant 6 nœuds et demi. En moyenne, la vitesse du bâtiment était de 5 nœuds et demi, et celle du câble en général de 30 pour 100 plus grande. Lundi, le 2 août, à midi, nous étions à 52 degrés de latitude nord et à 19 degrés 48 minutes de longitude ouest, ayant parcouru 127 milles depuis la veille et ayant accompli plus de la moitié de notre voyage.

« Dans l'après-midi, nous vîmes à l'est un trois-mâts américain, le *Chieftain*. D'abord on ne fit pas attention à lui; mais tout à coup il changea de direction et vint droit sur

nous. Une collision devenait imminente et aurait été fatale au câble; il était également dangereux de changer la course de l'*Agamemnon*. Le *Valorous* alla en avant et tira un coup de canon; l'*Agamemnon* en tira un second, et le *Valorous* deux autres sans pouvoir faire changer de direction le trois-mâts. L'*Agamemnon* n'eut que le temps de changer la sienne pour éviter le bâtiment, qui passa à quelques yards de nous. Son équipage et ceux qui étaient à bord ne comprenaient évidemment rien à notre manière d'agir, car ils accoururent sur le pont pour nous voir passer. A la fin, ils découvrirent qui nous étions; ils montèrent sur les vergues, et, agitant plusieurs fois leur drapeau, ils poussèrent trois hourras en notre honneur.

« L'*Agamemnon* fut obligé de reconnaître ces compliments en bonne forme, quoique nous fussions de fort mauvaise humeur, en songeant que l'ignorance ou la négligence de ceux qui dirigeaient ce bâtiment aurait pu occasionner un accident fatal.

« Mardi matin, vers trois heures, tout le monde à bord fut réveillé par le bruit du canon. On crut que c'était le signal de la rupture du câble. Mais, en montant sur le pont, on aperçut le *Valorous* déchargeant rapidement son artillerie sur une barque américaine qui était juste au beau milieu de notre chemin. Des remontrances aussi sérieuses de la part d'une grande frégate ne pouvaient être méprisées; aussi la barque s'arrêta-t-elle tout court, mais évidemment sans y rien comprendre. Son équipage nous prit peut-être pour des flibustiers, ou bien il crut être la victime d'un outrage britannique contre le drapeau américain. Ce qui est certain, c'est que la barque resta immobile jusqu'à ce que nous la perdîmes de vue à l'horizon.

« Mardi, il fit plus beau que les jours précédents. La mer, toutefois, était encore assez forte, mais déjà on pouvait prévoir le succès définitif de l'expédition. Nous étions à 16 de-

grés de longitude ouest, ayant fait 134 milles depuis la veille. Vers cinq heures du soir, nous étions arrivés à la montagne sous-marine qui sépare le plateau télégraphique de la côte d'Irlande, et, l'eau devenant toujours plus basse, la tension du câble diminuait aussi constamment. On en déroula une grande longueur pour le cas où il se trouverait dans le fond des inégalités que l'on n'aurait pas découvertes avec la sonde.

« Mercredi, le temps était magnifique. A midi, nous étions à 89 milles de la station télégraphique de Valentia. Vers minuit, on aperçut les lumières de la côte, et jeudi matin les rochers élevés qui donnent un aspect aussi sauvage que pittoresque aux environs de Valentia se présentèrent à nos yeux, à quelques milles de distance. Jamais peut-être navigateurs n'ont accueilli la vue de la terre avec autant de joie, puisqu'elle constatait la réussite d'un des projets les plus grands, mais en même temps les plus difficiles qui aient jamais été conçus. Comme on ne paraissait pas se douter de notre arrivée, le *Valorous* alla en avant, tira un coup de canon. Aussitôt les habitants se portèrent sur une foule d'embarcations à notre rencontre. Bientôt après on reçut un signal du *Niagara* indiquant que lui aussi était arrivé à la terre. Il avait coulé 1,030 milles de câble, et l'*Agamemnon* 1,020 milles, ce qui donne pour toute la longueur du câble submergé 2,050 milles géographiques. Le bout du câble fut amené à terre par MM. Bright et Canning, auxquels on est redevable du succès de l'entreprise ; il fut placé dans une tranchée creusée pour le recevoir, et les salves de l'artillerie annoncèrent que la communication entre l'ancien et le nouveau monde était complète. »

Il nous reste à parler des motifs qui ont déterminé le choix de la ligne de Terre-Neuve en Irlande pour l'établissement du télégraphe transatlantique. L'un de ces motifs, comme on le comprend aisément, est la brièveté de la ligne

sous-marine, car la distance de Terre-Neuve en Irlande est la plus courte qui sépare l'Amérique de l'Europe. Mais, en dehors de ce motif, plusieurs avantages, sous le rapport de l'exécution, résultaient de l'adoption de cette ligne : les sondages avaient démontré, en effet, que les profondeurs de l'Océan dans ces parages forment une vallée sous-marine parfaitement uniforme, sans aspérités, dont la profondeur varie à partir de l'Irlande (Valentia) entre 400 et 700 brasses anglaises, arrive à 1,518, atteint son maximum à 2,170 (2 milles et demi) sous le 52e degré 30 minutes de latitude nord et sur le 30e degré 30 minutes de longitude est de Greenwich, s'élève ensuite régulièrement jusqu'à 1,100 brasses et suit, en s'approchant des côtes de Saint-Jean (Terre-Neuve), les variations qu'elle éprouve sur les côtes de l'Irlande. Le fond de l'Océan entre Terre-Neuve et l'Irlande forme donc une espèce de cuvette dont le fond est occupé en grande partie par un banc sablonneux très-étendu qui semble on ne peut mieux approprié à la pose du câble sous-marin, et que, pour cette raison, on a surnommé *plateau télégraphique*. D'un autre côté, des recherches faites avec soin par le lieutenant Maury, soit directement, soit sur les matériaux puisés au fond de l'eau sur toute l'étendue de la ligne, avaient prouvé qu'il n'existe pas dans ces parages de courants violents et de flux anormaux susceptibles de compromettre la conservation d'un câble. Avec de pareils avantages, toute hésitation était impossible, et le tracé de la ligne transatlantique se trouvait forcément déterminé.

Nous avons dit, au commencement de ce chapitre, que le câble transatlantique, quelques jours après son installation, avait cessé de transmettre le courant. On ignore encore la cause de cet accident; mais on croit qu'il est dû à la faiblesse du câble aux abords des côtes rocheuses de l'Irlande, et, dans cette prévision, on s'occupe en ce moment de construire pour cette partie du câble une enveloppe protectrice

infiniment plus forte. Du reste, si c'est à une fissure dans l'enveloppe isolante que le courant doit sa déperdition, cette fissure pourra, au bout d'un certain temps, se trouver bouchée par suite des dépôts et incrustations qui se feront à l'extérieur du câble; plusieurs exemples de ce genre ont été déjà signalés.

Pendant le peu de temps qu'il fonctionna, le télégraphe transatlantique a pu rendre un service à la marine. Deux des gigantesques vaisseaux à vapeur de la compagnie Cunard, faisant le service d'Europe en Amérique et d'Amérique en Europe, chargés de passagers, se sont heurtés violemment très-près du cap Race. On pouvait croire à un épouvantable naufrage, ne les voyant pas revenir, et déjà la consternation était grande; mais le télégraphe transatlantique l'a bientôt calmée, en apportant sur nos rivages la simple dépêche suivante : « L'*Arabia* s'est heurtée samedi dernier contre l'*Europa* en vue du cap Race; l'*Arabia*, se rendant à New-York, a été légèrement avariée. L'*Europa* a perdu son beaupré et sa guibre; sa proue a été brisée; il restera au port Saint-Jean (Terre-Neuve) dix jours, à partir du 15. Le *Perria* vient à Saint-Jean chercher les malles et les passagers. Personne n'a péri ou n'a été blessé. » A combien de familles les explications demandées et reçues en deux heures auront rendu le calme!

Dans cet échange de dépêches, on constate à chaque instant des singularités qui tiennent aux différences d'heure des deux stations opposées, dont la différence de longitude est de 42 degrés et demi. Or cette différence est suffisante pour que Terre-Neuve soit de 2 heures 45 minutes en retard sur Valentia.

Télégraphe méditerranéen. — La ligne télégraphique méditerranéenne se compose de cinq parties distinctes : 1° d'une ligne sous-marine allant de la Spezzia au cap Corse; 2° d'une ligne aérienne allant du cap Corse au sud de la Corse;

3° d'une ligne sous-marine réunissant la Sardaigne à la Corse; 4° d'une autre ligne aérienne traversant la Sardaigne dans sa longueur jusqu'au cap Spartivento; 5° d'une ligne sous-marine allant du cap Spartivento à Bône en Algérie. De ces différentes lignes, nous ne nous occuperons que de la dernière, qui seule a présenté quelque intérêt, par suite des difficultés qu'on a rencontrées.

La longueur du câble sous-marin de Bône à Cagliari n'est que de 240 kilomètres; il n'est par conséquent guère plus long que beaucoup de ceux qui ont été immergés avant lui, tels que ceux de Suffolk à La Haye, de New-Brunswick à l'île du Prince-Édouard, et se trouve même plus court que celui de Varna à Balaklava; pourtant deux fois on a échoué dans sa pose, malgré les grands intérêts qui se trouvaient engagés.

D'où provenaient les difficultés qui ont rendu si laborieux l'établissement d'un pareil câble? C'est ce que l'on comprendra aisément dès lors que l'on saura que le câble adopté par le gouvernement français devait avoir quatre fils conducteurs; que la profondeur de la Méditerranée, sur une grande partie du parcours de la ligne, est presque aussi grande que celle de l'Océan (2,350 mètres), et que le fond de cette mer, au lieu de former une vallée régulière, comme le lit de l'Océan entre Valentia et Terre-Neuve, présente, dans le voisinage de la côte d'Afrique, des inégalités nombreuses et des pentes brusques et escarpées[1]. Avec un poids de câble aussi considérable et une profondeur aussi grande, on se trouvait donc dans des conditions de pose plus difficiles encore que celles dans lesquelles on était placé pour l'établissement du

1. Pendant plus de la moitié du trajet, la profondeur est de 2 milles à 2 milles 1/2, et le lit de presque toute l'autre moitié s'élève brusquement à 1/2 et même à 1/4 de mille de la surface. Le lit de la Méditerranée est du reste formé d'un calcaire coquillier tendre ressemblant à celui de la Manche entre Douvres et Calais, et fournit une surface excellente pour la pose du câble.

câble transatlantique, puisque, pour une même profondeur d'eau, on avait à faire défiler un câble environ trois fois plus lourd. Aussi il n'a rien moins fallu que toute l'habileté de M. Newall, auquel M. Brett avait soumissionné l'entreprise, pour triompher.

Le câble méditerranéen se compose, comme nous l'avons dit, de quatre fils réunis en faisceau, et revêtus d'une armure extérieure en fer, comme celui que nous avons représenté dans la planche 1 de notre premier volume. Ces fils sont tournés en spirale l'un sur l'autre à l'intérieur du câble pour leur donner plus de souplesse, et ils fournissent un diamètre total de 25 millimètres. Le poids du câble, dans la première expérience qui a échoué, était de 8 tonneaux par chaque mille, tandis que le poids de celui qui est maintenant immergé n'est plus que de 6 tonneaux 1/2.

Malgré l'habileté avec laquelle a été conduite l'opération de l'immersion du câble méditerranéen, il s'est produit certaines avaries qui ont empêché, peu de jours après sa pose définitive, la circulation du courant dans trois des fils conducteurs. M. Newall a cherché à réparer cet accident en levant cet été une partie de ce câble et en vérifiant son isolement, mais il n'a que médiocrement réussi dans son entreprise, et les mêmes effets se montrent de nouveau aujourd'hui comme l'année dernière.

Voici, du reste, quelques détails sur la pose de ce câble qui pourront fournir quelques renseignements intéressants :

. . . . . .

« Le 4 septembre 1857, dit la *Gazette de Savoie,* M. Newall et Liddle fixèrent au pied du fort Génois, sur la côte d'Afrique, le point d'attache du câble. On décida que la plage serait reliée au fort par un fil électrique. Le 5, à une heure après midi, arriva le paquebot à hélice l'*Elba,* bâtiment de 1,000 tonneaux, ayant à bord le câble sous-marin. Ce câble était de deux diamètres différents, par suite de la grosseur

différente du fil de fer qui en formait l'armature extérieure. La partie destinée à être placée près de la côte, plus exposée aux chocs et aux secousses, ayant besoin de plus de résistance, a un diamètre de 25 millimètres; la partie du milieu n'a que 20 millimètres de diamètre. Le câble est formé de quatre fils isolés au centre par de la gutta-percha, entourés de fils de fer roulés en spirale. Le poids total de l'appareil était de 350 tonnes.

« La description suivante donnera une idée des moyens employés pour organiser la descente du câble dans la mer. A peu près au milieu du bâtiment, au fond de la sentine, était placé un grand cylindre de bois terminé en cône à sa partie supérieure. Autour de ce cylindre, le câble s'enroulait en spirales concentriques; comme l'extrémité du câble, en se déroulant, aurait à chaque instant changé de position, on avait disposé, pour le diriger toujours verticalement, à peu de distance des spirales et à des hauteurs diverses, une série de forts anneaux de fer à diamètre décroissant, suspendus par des cordes, et formant ainsi au-dessus des spirales une sorte d'entonnoir flexible de tous côtés. L'extrémité du câble, maintenue par les anneaux, sortait par le plus petit, enfilait un autre anneau, passait sous un gros canal à arc de cercle et sur une sorte de longue gouttière à plans inclinés, en sorte que la pression croissant selon le principe du coin, il se produisait un frottement très-fort. Le câble passait ensuite entre deux poulies à axes parallèles qui l'amenaient sur un plan contre lequel il pouvait être serré par un levier que l'on pouvait manœuvrer avec la main.

« Au sortir de ce frein, le cordon s'enroulait sur une grande roue de $2^{m},50$ de diamètre, sur laquelle il faisait six tours. Mais comme, en se déroulant d'un côté et s'enroulant de l'autre, il aurait produit l'effet d'une vis, et aurait eu une tendance à s'accumuler sur l'un des côtés, on avait posé sur la roue, de distance en distance, de forts ressorts qui main-

tenaient le câble au milieu de la roue. Cette roue était étreinte par une lame de fer fixée d'un côté, et de l'autre attachée à un levier, formant ainsi un frein très-puissant tout à fait semblable à celui qui s'adapte aux grues et aux machines du même genre.

« Un compteur, placé sur l'axe de la roue, indiquait le nombre de ses tours et fractions de tours, en même temps que la longueur du cordon déroulé. Au-dessus de la même roue était une longue caisse à fond troué, dans laquelle une petite pompe, mue par la vapeur, jetait continuellement de l'eau retombant en pluie, afin d'empêcher que le câble et la roue ne s'échauffassent par le frottement. En sortant de la roue, le câble passait dans une gaîne garnie de fer à la poupe du bâtiment, pour tomber de là dans la mer. Les deux freins dont nous avons parlé devaient servir à ralentir et à régler le déroulement du câble. En outre, on ajouta à cet ingénieux mécanisme un appareil inventé sur les lieux mêmes par M. Siemens, et construit sous sa direction, destiné à mesurer et à régulariser l'action des freins.

« Le 7 septembre, on construisit le télégraphe électrique qui reliait la plage au fort Génois; les marins sardes traînèrent à terre l'extrémité du câble, qui fut mise en communication avec deux fils de la ligne provisoire du fort.

« A huit heures et demie du soir, l'*Elba* partit, précédé de l'*Ichnusa*, qui le dirigeait dans la route à suivre pour aller au cap Spartivento, et remorqué par le *Monzambano*, une communication télégraphique ayant été préalablement établie entre les deux paquebots par deux fils recouverts de gutta-percha, et longs de 120 mètres chacun. Le *Brandon* venait ensuite. On avait laissé au fort Génois, pour correspondre avec l'*Elba*, l'inspecteur M. Bernardi, et un employé de M. Siemens. On marcha toute la nuit avec une vitesse de 4 milles seulement à l'heure, parce que les ouvriers étaient continuellement occupés à couper, au fur et à mesure que

le câble se déroulait, quelques cordes qui attachaient les spirales, et l'on craignait qu'en marchant plus vite, surtout la nuit, on ne laissât pas aux ouvriers assez de temps pour faire cette opération, et qu'ils fussent entraînés par le câble.

« D'ailleurs, MM. Newall et Liddle n'osaient pas serrer trop les freins, craignant la rupture du câble, qui leur paraissait déjà suffisamment tendu ; la quantité immergée était déjà plus grande que le chemin parcouru; le matin du 8 septembre, à six heures et demie, on n'avait parcouru que 45 milles, et on avait employé 60 milles de câble. On accéléra un peu la marche du navire, qui fit alors 6 milles à l'heure; mais, comme on rencontrait des profondeurs de plus de 2,000 mètres, on continuait à consommer 7 milles de câble par heure. A midi, on était arrivé à 6 degrés 4 minutes de longitude et 37 degrés 50 minutes de latitude, c'est-à-dire que l'on avait parcouru 65 milles et consommé 90 milles de câble. Ce résultat parut si peu avantageux que l'on résolut de gagner au plus tôt les bas-fonds, et les bâtiments furent dirigés vers le cap Teulada, en même temps que l'on mettait tout en œuvre pour ralentir la descente du câble. A trois heures de l'après-midi, on dut accélérer encore la marche du *Monzambano*, qui fut portée à 7 milles par heure ; en même temps on serrait beaucoup les freins ; le câble était énormément tendu, et on avait réussi à rendre la perte à peu près nulle.

« A sept heures quarante-cinq minutes du soir, il ne restait plus à dérouler que la partie du câble de 25 centimètres de diamètre destinée à être fixée près de Spartivento. L'*Elba*, débarrassé d'une grande partie de son poids, cessa d'être remorqué par le *Monzambano*, et navigua seul jusqu'à neuf heures et demie du soir, heure à laquelle il s'arrêta pour le reste de la nuit, afin de laisser reposer son équipage. On était à 9 milles du cap Teulada, et l'opération pouvait être considérée désormais comme assurée.

« Le 9 septembre au matin, après que l'on eut ajouté au câble principal un câble plus petit à un seul fil, chargé à bord en prévision d'un accident, l'*Elba* partit seul et se dirigea à pleine vapeur sur le cap Teulada. A midi et demi, à 2 milles du cap, le petit câble se rompit; on sonda le fond, et l'on ne trouva que 40 brasses. Alors l'*Elba*, après avoir relevé avec soin la position où il se trouvait, arbora les drapeaux sarde, français et anglais. MM. Newall et Liddle déclarèrent qu'ils allaient partir au plus tôt pour Marseille et se rendre en Angleterre, afin d'achever la ligne au mois d'octobre, quand ils auraient posé l'autre câble entre Malte et Cagliari. A cinq heures et demie, l'*Elba* partit, saluant les autres bâtiments d'une salve d'artillerie, pour se rendre à Cagliari, où l'on s'arrêta une journée, et de là à Gênes, où l'on débarqua le 13 septembre, à huit heures cinquante minutes du matin. »

Nous ajouterons à cette narration que, quelques semaines après cette opération, M. Newall a repêché le bout du câble laissé au fond de la mer, et lui a ajouté la longueur qui lui manquait pour atteindre le rivage. Ainsi a été complétée la ligne de Sardaigne en Afrique.

Lignes sous-marines établies et à établir. — Depuis la publication du premier volume de notre *Exposé*, dans lequel nous avons donné le tableau des lignes sous-marines construites jusqu'en 1855, plusieurs autres lignes d'une grande importance ont été établies. D'abord l'île de Malte s'est trouvée reliée avec le continent par la Sicile et la Sardaigne au moyen de deux câbles, allant l'un de Cagliari à Trapani, à la pointe de la Sicile, l'autre du cap Passaro aux îles de Gozzo et de Malte, et d'une ligne aérienne établie entre Trapani et le cap Passaro. En second lieu, les îles Ioniennes ont été reliées au réseau européen par un câble immergé entre Raguse et Corfou. Si l'on joint à ces lignes celles dont nous donnons ci-dessous la liste, avec les dates de l'installation et la longueur des câbles, on pourra avoir une idée à peu près exacte de

l'extension qu'a prise, depuis huit ans, la télégraphie sous-marine :

CABLES SOUS-MARINS IMMERGÉS.

Angleterre et France.....	1850.....	36	kilomètres.
Angleterre et Belgique.....	1852.....	114	—
Angleterre et Irlande.....	1853.....	103	—
Angleterre et Hollande.....	1853.....	173	—
Irlande et Écosse (2 câbles)....	1853.....	39	—
Italie et la Corse.....	1854.....	103	—
Corse et Sardaigne.....	1854.....	15	—
Danemark (grand Belt).....	1854.....	23	—
Danemark (petit Belt).....	1854.....	8	—
Danemark (le Sund).....	1855.....	18	—
Écosse (détroit de Forth).....	1855.....	6	—
Mer Noire.....	1855.....	600	—
Solent (île de Wight).....	1855.....	5	—
Détroit de Messine.....	1856.....	8	—
Golfe de Saint-Laurent.....	1856.... .	111	—
Détroit de Northumberland....	1856.....	15	—
Bosphore.....	1856.....	2	—
Nouvelle Écosse (isthme de Canso)	1856.....	3	—
Saint-Pétersbourg à Cronstadt..	1856.....	13	—
De Sardaigne en Algérie.....	1857.....	240	—
Amérique et Irlande.....	1858.....,	2925	—

Cette liste, dressée par M. C. William Field, l'un des promoteurs les plus puissants du télégraphe transatlantique, n'est pas tout à fait complète ; mais, en la comparant avec celle que nous avons déjà donnée, on pourra reconnaître les omissions.

Comme le courage augmente avec le succès, on parle en ce moment de bien d'autres lignes sous-marines à côté desquelles celles dont nous venons de parler ne seraient que de petits enfants. On ne parle rien moins que de relier l'Angleterre à l'Australie par une ligne passant par Corfou, Alexandrie, le golfe Persique, les Indes[1], la Chine et les îles de

1. Le tracé de cette ligne jusqu'aux Indes serait le suivant : de Corfou à Alexandrie, d'Alexandrie à Suez (ligne aérienne suivant le chemin-

l'Océanie. D'un autre côté, mais ceci est plus certain, car les concessions sont déjà accordées, la France serait reliée directement à l'Amérique par une ligne passant par le Portugal et les Açores; enfin l'Asie serait elle-même réunie à l'Amérique par un câble sous-marin passant à travers le détroit de Behring. Voilà, certes, de beaux projets qui auraient pu paraître fantastiques il y a à peine vingt ans, mais dont on ne peut nier aujourd'hui la possibilité. N'est-ce pas le cas de dire : *Que ne verrons-nous pas?*

Système de câbles sous-marins de M. Beaudoin. — L'immersion des câbles est, comme nous l'avons vu, le problème le plus difficile à résoudre dans l'établissement des lignes sous-marines, et ce problème devient d'autant plus complexe que la longueur de ces câbles est plus grande. Ces difficultés ont engagé M. Beaudoin à rechercher dans quelles conditions les câbles sous-marins devaient être construits pour se prêter le plus facilement aux opérations que devait entraîner leur pose, et il est arrivé à des conclusions qui pourront être d'un grand secours lors de l'établissement des lignes projetées.

Presque toutes les difficultés rencontrées jusqu'à présent dans l'immersion des câbles sous-marins prennent leur source, suivant M. Beaudoin, dans le poids spécifique trop considérable que leur donne l'armure de fer qui enveloppe le câble intérieur isolant dont les conducteurs électriques

de fer actuellement en voie de construction), de Suez à Aden, d'Aden à Raz-el-Had sur le golfe Persique, de Raz-el-Had à Kurrachée sur le rivage Indien. D'Aden à Raz-el-Had ce seront plusieurs câbles sous-marins plongés le long du rivage de la mer Rouge, mais avec un assez grand nombre de stations à terre pour que la longueur de chaque fragment ne dépasse pas 800 kilomètres. La liaison de Raz-el-Had avec Kurrachée se fera avec un seul câble de 600 kilomètres. La longueur totale des câbles sous-marins entre Suez et Kurrachée sera de 6,000 kilomètres.

Une ligne allant d'Angleterre en Norwége vient d'être concédée à MM. Elliot et Glass.

forment l'âme, et dans les forces vives produites par les variations inévitables de vitesse de chute de cette masse en mouvement.

M. Beaudoin a comparé entre eux les chiffres représentant les dimensions des divers câbles armés de fer qui ont été immergés dans différentes mers, le poids et la force de leurs armures, le poids du mètre de chaque câble hors de l'eau et dans l'eau, le nombre de mètres pendant verticalement et en repos dans la mer, dont la charge équivaudrait à leur résistance, et il est arrivé à ce résultat, étrange au premier abord, mais très-rationnel en réalité, que malgré les énormes différences que présentent les diamètres de ces câbles et les grosseurs de leurs armures en fer, cependant le nombre de mètres plongés dans l'eau qu'ils sont capables de supporter est à peu près le même ; le câble de la Spezzia, par exemple, qui a 36 millimètres de diamètre et dont l'armure se compose de gros fils de fer de 8 millimètres de diamètre enroulés à longues spires, romprait sous la charge de 9,000 mètres environ, pendant verticalement et en repos dans la mer ; et le câble transatlantique, qui n'a que 15 millimètres de diamètre et dont l'enveloppe en fer n'ayant que 8/10 de millimètre d'épaisseur, présente une résistance neuf fois moindre, romprait sous 9,500 mètres de sa propre longueur plongés dans l'eau.

« Ce qu'il faut considérer, dit M. Beaudoin, pour un câble destiné à passer par de grandes profondeurs, ce n'est pas sa résistance absolue, c'est le *rapport de cette résistance à son poids par mètre immergé*, principal élément des tensions que ce câble a à subir pendant son immersion. A quoi sert un câble très-résistant, s'il est en même temps très-lourd? Quel avantage y a-t-il à s'imposer la nécessité d'avoir à lutter contre la rapidité de chute d'une masse qui devient d'autant plus considérable que la profondeur augmente, et d'avoir à employer dans ce but des machines ingénieuses sans doute, mais

difficiles, dangereuses même à manœuvrer, et souvent impuissantes à maîtriser de tels efforts?

« Il est si peu vrai que ce soit de la force absolue de résistance du câble, et par conséquent de la force de son armure en fer, que dépend sa résistance effective lors de l'immersion, que, pour une grosseur déterminée de câble, plus on diminuera l'épaisseur de l'enveloppe extérieure en fer, plus deviendra grand le nombre de mètres plongés dans l'eau qu'il pourra supporter avant de rompre. Pour s'expliquer cette apparente anomalie, il suffit de faire attention que si l'on a diminué de moitié la résistance absolue du câble, on a diminué en même temps, et dans une plus forte proportion, le poids dans l'eau de chaque mètre immergé, et que, par conséquent, on a ainsi augmenté le rapport de la résistance à la charge effective dans l'eau, ou, en d'autres termes, la résistance relative du câble.

« Ces pesantes armures, utiles, nécessaires pour protéger les câbles près des côtes, où les ancres des navires peuvent les offenser, où les agitations de la mer peuvent les user contre les rochers, sont donc sans aucune utilité dès que la profondeur dépasse 200 mètres; et elles deviennent tout à fait nuisibles pour de très-grandes profondeurs, comme celles de 4,400 mètres rencontrées entre l'Irlande et Terre-Neuve. »

Ces considérations ont conduit M. Beaudoin à proposer de renverser tout ce qui avait été fait jusqu'ici pour la fabrication des câbles sous-marins, de transporter à l'intérieur des câbles la force et l'élasticité qui ne résidaient que dans l'armure métallique qui les enveloppait, et d'utiliser comme conducteur de l'électricité le fer même que l'on n'employait que comme une protection des fils électriques en cuivre dont la ténacité est si faible.

Ainsi, pour le câble transatlantique, au petit cordon de cuivre rouge qui forme son conducteur unique, M. Beaudoin propose de substituer une cordelette en fil de fer ayant une

section six fois et demie plus grande, afin d'avoir un pouvoir conducteur équivalent. Six fils de fer de 2 millimètres de diamètre tordus ensemble autour d'un filin en chanvre bitumé suffiraient et au delà. La corde métallique ainsi formée n'aurait que 6 millimètres de diamètre; elle réunirait à une grande flexibilité une solidité considérable, puisqu'elle pourrait supporter seule 1,140 kilogrammes, quand le fil de cuivre du transatlantique romprait sous 37 kilogrammes de charge. Il suffirait ensuite de recouvrir par les procédés usités cette petite corde en fer d'enveloppes isolantes superposées et assez épaisses pour porter à 16 millimètres le diamètre total.

Le câble ainsi formé, bien qu'ayant le même diamètre que le câble transatlantique, ne pèserait plus dans l'eau que 147 grammes au lieu de 462, plus de trois fois moins; il pourrait supporter 13,959 mètres plongés dans l'eau, au lieu de 9,500 seulement pour le câble transatlantique, une fois et demie autant.

Comme moyen de réduire plus encore le volume et le poids des câbles sous-marins, en augmentant au contraire le rapport de leur résistance à la charge produite par chaque mètre dans l'eau, M. Beaudoin a eu la pensée d'employer l'aluminium à former l'âme conductrice des câbles sous-marins. Ce métal, en effet, est aussi bon conducteur que le cuivre; à section égale, il est quatre fois plus tenace: sa ténacité est presque celle du fer, bien qu'il soit trois fois moins pesant que lui. Soit donc un fil d'aluminium de 2 millimètres de diamètre et revêtu d'enveloppes isolantes suffisamment épaisses pour porter à 5 millimètres le diamètre total, voici quels seront les caractères d'un tel conducteur sous-marin : sa résistance à la rupture sera de 270 kilogrammes; le poids de chaque mètre sera de 26 grammes environ hors de l'eau, se réduisant à 7 grammes dans l'eau; il pourra donc supporter un nombre de mètres suspendus

dans l'eau représenté par $\frac{27000}{7}$, soit 38,000 mètres, c'est-à-dire environ quatre fois autant que le câble transatlantique. Sous le rapport de l'aménagement à bord, 4,000 kilomètres de ce petit câble ne donneraient qu'un volume de 78 mètres cubes et qu'un poids de 106 tonnes au lieu de 696 mètres cubes et 2,548 tonnes produits par le câble transatlantique. Une longueur de 4,400 mètres suspendus dans la mer ne pèserait que 31 kilogrammes, au lieu de 2,032! Que l'on juge maintenant de la différence qu'il y aurait d'avoir à laisser s'opérer la descente d'un aussi faible poids dans un cas, et, dans l'autre, à maintenir la chute d'une aussi lourde masse.

Malheureusement l'aluminium coûte encore 300 francs le kilogramme en ce moment, et le petit câble dont nous venons de parler reviendrait à 3 francs le mètre, c'est-à-dire au double du prix du câble transatlantique.

Dans le même ordre d'idées, M. Beaudoin propose l'emploi de câbles mixtes à plusieurs conducteurs, en aluminium, cuivre et fer, ou en fer et cuivre seulement, qui, sans présenter une résistance relative aussi grande que son petit cadre tout en aluminium, en aurait une supérieure à celle du câble transatlantique.

On a très-judicieusement fait observer à M. Beaudoin que ce n'est pas seulement du poids spécifique des câbles que dépendent les difficultés de leur immersion; que ce sont surtout les inégalités que présente le fond de la mer, ces pentes abruptes qui s'y rencontrent, l'action des courants, toutes ces causes si diverses enfin qui viennent compliquer l'opération déjà si délicate de leur émission à la mer. Mais M. Beaudoin croit que ces observations, très-fondées d'ailleurs, ne font que confirmer sa proposition; car c'est surtout pour les câbles lourds que se feront le plus fortement sentir ces diverses causes de perturbation. Si l'on a affaire à un câble léger, il n'y a aucun inconvénient à le laisser filer

comme une ligne de loch, pour qu'il obéisse aux tensions causées par ces augmentations subites de profondeur, tandis que pour un câble dont le poids dans l'eau, à 4,400 mètres par exemple, serait de 19 tonnes, on est effrayé de ce que seraient les forces vives produites par les variations brusques qui peuvent et doivent survenir dans la vitesse de chute d'une aussi lourde masse, et par conséquent des efforts à faire, des appareils à employer pour la modérer.

Quant à l'action des courants, elle entre pour bien moins qu'on ne pense dans l'excès de longueur de câble émis à la mer sur le chemin réellement parcouru. C'est surtout à la disposition qu'ont les câbles armés de fer à se tordre et à la difficulté de mettre leur déroulement en rapport avec les changements de profondeur et avec la vitesse des navires qu'est due cette trop grande dépense de câble.

Suivant M. Beaudoin, le moyen le plus commode et le plus efficace d'alléger les câbles lourds, au moment de leur émission, serait d'user d'un artifice qui consisterait à attacher autour des câbles à immerger une couronne de *filins* en chanvre, plus ou moins nombreux et forts, que fourniraient des bobines séparées. Un fort fil en spirale relierait le faisceau tubulaire ainsi formé. Indépendamment de l'augmentation de volume et de l'allégement du câble qui en résulterait, ce seraient autant de soutiens auxiliaires prenant leur part des tensions exercées sur le câble.

Cette manière d'opérer n'est, au surplus, qu'une application particulière du système proposé par M. Beaudoin pour l'établissement des câbles sous-marins, dans le but de n'avoir à enrouler sur le navire qu'un câble aussi peu volumineux et aussi léger que possible. A cet effet, le travail fait à terre se réduisait à recouvrir l'âme conductrice métallique des enveloppes rigoureusement nécessaires pour l'isoler et la protéger contre les fatigues de l'embarquement et du déroulement; et c'était à bord qu'il se réservait d'appliquer sur ce premier câble, au

fur et à mesure de son émission, l'enveloppe complémentaire en chanvre destinée à l'alléger et à augmenter sa résistance.

Au point de vue des phénomènes électriques eux-mêmes, M. Beaudoin croit que les câbles légers qu'il propose seraient préférables aux câbles armés de fer, d'abord parce qu'on en dépenserait moins pour le même trajet, et qu'ainsi le chemin à parcourir par l'électricité serait moins long ; et puis parce qu'il lui paraît probable que la présence d'une armure en une substance aussi éminemment conductrice que le fer doit, en favorisant les effets d'induction, augmenter le retard qu'éprouvent les courants voltaïques.

Enfin M. Beaudoin, pour le cas où la transmission des dépêches à d'aussi grandes distances ne pourrait se faire que trop peu sûrement ou trop lentement pour donner des résultats pratiquement utiles, avait eu la pensée qu'il ne serait peut-être pas impossible, à l'aide d'un système particulier de flotteurs reliés entre eux et avec le fond de la mer, d'établir sur l'Océan même une ou plusieurs stations flottantes où l'on pourrait placer des relais ; mais c'est là, comme il l'a dit lui-même, un projet tant soit peu fantastique, et que rendrait d'ailleurs inutile le choix d'un autre parcours, par exemple celui qui, partant du cap Finistère, en Espagne, atteindrait le continent américain en passant par les îles Açores, où l'on trouverait un relai tout naturel.

Pour être juste, nous devons dire que l'idée de reporter à l'intérieur du câble la cordelette de fer dont on le recouvre extérieurement avait été émise par M. Allan en 1856. Ce câble serait formé, suivant M. Allan, de 19 fils de fer tordus en un faisceau unique de 2 centimètres 1/2 de diamètre, et ce noyau serait enfermé dans une enveloppe de caoutchouc recouverte à son tour d'un mélange de goudron et de sable. « Un câble ainsi construit, dit le *Mechanic's Magazine,* ne reviendrait qu'à 1,000 francs par kilomètre, et son poids par

kilomètre ne dépasserait pas quatre quintaux ; sa résistance serait au moins comparable à celle des câbles actuels, et quoique la conductibilité du fer soit à celle du cuivre dans le rapport de 24 à 120 (ces chiffres sont erronés), la section beaucoup plus grande du nouveau câble suppléera à sa conductibilité moindre. Rien n'empêche, au reste, que dans certaines circonstances on ne mêle des fils de cuivre dans la construction du noyau métallique pour obtenir à la fois et la résistance du fer et la conductibilité du cuivre. »

Système de câbles sous-marins de MM. Laudi et Falconieri. — MM. Laudi et Falconieri pensent que la rupture des câbles sous-marins a pour cause unique les efforts que l'on fait, à l'aide de freins mécaniques, pour modérer leur vitesse de déroulement. En conséquence, ils proposent de supprimer les freins et de leur substituer un autre système fondé sur le double principe du parachute et des corps flottants.

« L'application de notre système, disent-ils, consiste tout simplement à attacher au câble, lorsqu'il acquiert une vélocité extraordinaire, des corps à grande surface, comme par exemple des planches, des parachutes en forte toile, et lorsqu'en vertu de la vélocité de la chute du câble on veut diminuer son poids, à y attacher des tonneaux vides, des outres gonflées, du liége et d'autres corps flottants.

« Les conditions nécessaires à l'application pratique de notre procédé sont les trois suivantes :

« 1° D'attacher promptement, et par des moyens proportionnels à la rapidité de l'immersion du câble, un ou plusieurs des susdits parachutes ;

« 2° De les détacher une fois que le câble a touché le fond de la mer, pour ne pas le fatiguer ;

« 3° Finalement, à reconnaître par un moyen sûr quand et à quel nombre ces parachutes doivent être employés.

« Dans le premier cas, nous employons ou un nœud coulant autour du câble pour le retenir, ou des tenailles.

« Quant à la deuxième condition, pour détacher le corps fixé au câble, nous employons deux bouts de corde reliés ensemble au moyen d'un mastic d'une certaine consistance, mais qui fond dans l'eau. La colle forte, la gomme, la réglisse, soit seules, soit mélangées ou combinées avec de la râclure de bois ou de la filasse pour leur donner plus de corps, peuvent être employées à cet effet.

« Le mastic peut être employé de différentes manières. Pour réunir les deux bouts de la corde, on peut les étendre, les enlacer, et les fixer ensuite par des bandes de toile recouvertes de mastic.

« Quant à la troisième condition, nous comptons nous servir de l'indicateur bien connu de Watt, à force centrifuge ou de tout autre mesurateur de célérité ou de tension. L'indicateur étant relié au tambour, la vélocité de développement du câble sera indiquée par des graduations sur la tige verticale où glisse une douille mobile.

« Voici la marche de l'opération :

« Le câble, en sortant du navire, s'enroule sur le tambour comme d'ordinaire, et tombe dans la mer. Le maximum de la vélocité avec laquelle le câble doit se dérouler sera fixée d'avance d'après sa force et d'après d'autres circonstances. La graduation de la tige verticale de l'indicateur fera connaître le degré de vélocité. Au-dessous de cette limite, le déroulement aura lieu comme d'ordinaire, suivant le principe des freins ; mais aussitôt que l'indicateur marquera une augmentation de vitesse, un homme préposé à ce service attachera au câble un parachute ou corps flottant, selon le besoin. Cette opération sera répétée jusqu'au moment où l'indicateur redescendra au degré de la vitesse normale.

« Tel est le moyen de maintenir la vitesse de développement du câble d'une manière toujours uniforme. Quelle que soit la pesanteur du câble, il sera immergé avec autant de facilité qu'un câble très-léger, et, quelle que soit d'ailleurs la

profondeur de la mer, le câble sera immergé comme si cette profondeur était partout la même.

« Par notre procédé, il n'y a rien à changer à ce qu'on a fait jusqu'à présent. La conformation du câble reste la même; aucun des appareils n'est perdu ; les opérations de l'immersion ne sont nullement altérées. Enfin le procédé que nous venons de proposer est très-simple et extrêmement facile, ce qui est une sûre garantie de son adoption et de sa réussite. »

Nous ne ferons qu'une seule objection au système précédent; mais cette objection peut détruire à elle seule bien des illusions : c'est que, dans les profondeurs d'eau auxquelles les câbles sous-marins doivent parvenir, il n'est pas de corps légers ou creux, si solidement qu'ils soient construits d'ailleurs, qui, sous l'énorme pression qu'ils auraient à subir, ne fussent complétement aplatis ou pénétrés par l'eau, puisqu'à 1,100 mètres seulement de profondeur, cette pression serait de plus de 100 atmosphères. Nous ajouterons avec M. Beaudoin que les inégalités précédentes dans la vitesse de chute du câble, par la résistance des flotteurs et par leur annihilation subséquente, causeraient des *à coup* plus nuisibles qu'une tension croissant d'une manière régulière.

M. de Mat, dans une lettre adressée à *l'Ami des sciences*, propose un système analogue. Seulement il veut soutenir la ligne entière à la surface de l'eau avant de l'immerger, et il consacre à cette opération le nombre de futailles nécessaire (quel nombre!!!). Ce n'est que quand l'opération est complétement achevée qu'il dégage le câble de ses futailles et procède à l'immersion, qui, dit-il, doit se faire alors de la manière la plus douce. Nous croyons peu à l'immersion du câble dans de pareilles conditions; mais, en revanche, nous croirions fort à sa destruction immédiate, si tant est qu'on pût parvenir à le faire arriver ainsi soutenu, d'un rivage à l'autre. En effet, le moindre courant et le moindre vent suf-

firaient pour repousser toutes les tonnes flottantes au loin, pour nouer le câble, et entraîner le vaisseau lui-même qui le déroulerait.

Du reste, cette idée des flotteurs est toujours celle qui vient la première à l'esprit et qui sourit au plus grand nombre de personnes.

Dernièrement encore, un inventeur dont le nom m'échappe en ce moment avait proposé de revêtir les câbles sous-marins d'une enveloppe faite de substance très-légère et susceptible de se dissoudre au bout d'un certain temps de contact avec l'eau de mer. La dissolution, suivant cet inventeur, ne s'effectuant que successivement, le câble, déroulé d'avance sur une certaine étendue, tomberait doucement au fond de l'eau, soutenu dans sa chute par les parties de l'enveloppe non encore dissoutes, et l'on n'aurait plus à craindre les mouvements brusques et précipités qui ont été si fatals aux opérations de ce genre.

Système de câbles sous-marins de M. Balestrini. — Le système de M. Balestrini ne se rapporte qu'à la construction des câbles, qu'il dispose ainsi qu'il suit : 1° le noyau du câble est une corde assez mince autour de laquelle s'enroule en spirale un fil de cuivre nu servant de conducteur à un courant secondaire destiné à neutraliser l'induction née des enveloppes de gutta-percha, et qui diminue la vitesse de transmission des dépêches; 2° sur le noyau en corde sont également enroulés en hélices, mais en hélices de sens contraires, les fils conducteurs du courant principal revêtus chacun de deux couches de gutta-percha; 3° l'ensemble des fils, dont le nombre varie de deux à six, est protégé par une enveloppe de sûreté formée de huit petites cordes ou torons de chanvre enroulés encore en hélices de sens contraires à celles des fils conducteurs, de même sens par conséquent que le fil de cuivre. Les cordes sont rendues imperméables par une composition élastique grasse et isolante dans la com-

position de laquelle entre le caoutchouc. Le tout est recouvert d'une enveloppe formée d'une petite corde de chanvre naturel et d'une toile imperméable superposée à la corde; 5° enfin, dans le voisinage des côtes et sur les bas-fonds, M. Balestrini conseille d'ajouter une dernière enveloppe ou armure de résistance formée d'un fil de fer galvanisé enroulé en spirale.

La partie la plus neuve de l'invention de M. Balestrini est l'interposition qu'il fait en différents points des câbles de boîtes de raccordement, pour donner la possibilité de greffer sur eux des circuits secondaires ou dérivés allant dans des directions différentes. Ces boîtes consistent dans des espèces de cages en fer composées de deux parties reliées par des boulons, et qui renferment une caisse de bois. Au fond de cette caisse se trouvent des lames métalliques en nombre égal à celui des fils conducteurs, et les bouts de ces fils conducteurs aplatis sont reliés avec les lames au moyen de vis. Le tout est ensuite rempli de bitume, et la boîte entière est abandonnée au fond de la mer. Avec ce système, il est facile d'opérer des dérivations sur les différentes stations maritimes devant lesquelles le câble passe, et l'on a l'avantage, en cas de rupture de ce câble, de pouvoir utiliser les bouts non disjoints au service des stations intermédiaires, ce qui permet en même temps de reconnaître facilement le point de la rupture.

Pour l'immersion, M. Balestrini conseille encore l'emploi des flotteurs; mais nous en avons déjà fait assez ressortir les inconvénients pour que nous n'entrions pas ici dans de plus grands détails sur cette partie de l'invention de M. Balestrini.

Câbles de MM. Harisson et Glass. — Le système de ces inventeurs consiste, comme toujours, en des fils de cuivre entourés de gutta-percha, puis de matières filamenteuses, le tout imprégné de caoutchouc, de glu marine, bitume, etc. Sur ce noyau isolant ils placent une enveloppe métallique

composée de bandes découpées en sections de cercles, pour rendre leur joint aussi parfait que possible. Sur cette enveloppe métallique s'en trouve une autre de fonte, laquelle est recouverte d'un ruban de fer galvanisé roulé en spirale autour du câble entier. MM. Harisson et Glass ont étendu ce système aux conducteurs souterrains ; seulement, dans ces derniers, le noyau central n'est pas fait ainsi que nous venons de le dire. On construit d'abord l'enveloppe, qu'on plonge dans un bain de zinc, ce qui soude ensemble les différentes parties métalliques de cette enveloppe, sans pourtant lui ôter de sa souplesse ni de sa légèreté. C'est alors dans ces espèces de boyaux qu'on introduit les fils conducteurs recouverts de gutta-percha qui doivent transmettre le fluide électrique.

Système pour rétablir l'isolement d'un fil sous-marin dont l'enveloppe de gutta-percha a été détériorée. — Lorsqu'une fissure se produit dans l'enveloppe de gutta-percha des fils sous-marins, le courant se perd entièrement, et les communications se trouvent forcément interrompues. Jusqu'à présent on n'avait trouvé d'autre moyen pour réparer ce genre d'accidents que de lever le fil et de vérifier son isolement; mais il n'est pas toujours possible de lever les fils immergés, et d'ailleurs c'est une dépense toujours considérable. M. Hipp vient de résoudre ce problème de la manière la plus simple et la plus intéressante. Comme ce fait est d'une grande importance, nous laisserons M. Hipp raconter lui-même son expérience.

« En juillet de l'année dernière, dit-il, j'ai été chargé par l'autorité supérieure d'expérimenter un câble télégraphique, immergé quelques mois auparavant dans le lac des Quatre-Cantons, et qui se trouvait isolé d'une manière si défectueuse, qu'il laissait perdre la plus grande partie du courant qui le traversait, et manquait ainsi à sa destination.

« Le câble en question était destiné à relier la rive occi-

dentale du lac près Bauen avec le rivage opposé près de Flüelen ; la distance est de 18,000 pieds suisses, et la plus grande profondeur du lac sur cette ligne, de 700 pieds environ.

« Le fil conducteur était, comme habituellement, isolé avec de la gutta-percha ; la gutta-percha était ensuite protégée par du chanvre goudronné, et le tout recouvert de deux rubans de fer roulés en spirale, et de telle sorte que le second recouvrit les interstices laissés par le premier ; le poids du câble était de 60 quintaux, et sa valeur de 10,000 francs environ.

« D'après mes premières expériences, selon les méthodes connues, le dérangement ou plutôt le centre de plusieurs dérangements semblait devoir être presque à 2,000 pieds du rivage, près de Flüelen.

« Ce résultat paraissait avoir d'autant plus de vraisemblance, que diverses personnes présentes à la pose du câble assuraient que vers ce point le câble avait une soudure que l'on avait été obligé de faire par le mauvais temps, et qui, en conséquence, pouvait être défectueuse.

« Je dus me résoudre à faire lever le câble jusqu'à ce point où le lac avait environ 300 pieds de profondeur ; mais cette opération ne put s'effectuer qu'en exerçant une tension que le seul poids du câble ne permettait pas d'expliquer, et qui conduisit à la conclusion que le câble devait reposer par places dans une épaisse couche de vase.

« En examinant le point de soudure, on n'y trouvait aucun dérangement apparent, mais les deux parties du câble étaient mauvaises, aussi bien la partie émergée que l'autre, d'une longueur plus considérable.

« Il paraissait impossible de lever le câble sur toute sa longueur, parce que sa ténacité absolue ne pouvait présenter assez de résistance à son propre poids et à l'obstacle provenant de la vase. (On doit remarquer que les fils spiraux

de l'enveloppe protectrice favorisent peu le soulèvement du câble.)

« Je remplaçai la partie soulevée par une certaine longueur de nouveau câble, dont je m'étais muni par précaution.

« Après l'achèvement de cette opération, on constata, en renouvelant les opérations, qu'elle n'avait amené aucune amélioration sensible.

« Le câble restait donc perdu si on ne trouvait pas moyen de l'isoler sans le lever.

« J'ai trouvé plus tard que la gutta-percha dont était fabriqué le câble s'était durcie, et qu'il avait pu se former en conséquence, pendant la pose, des gerçures d'où provenait le dérangement.

« Je pensai d'abord à un échauffement du fil, qui aurait eu pour conséquence immédiate la fusion de la gutta-percha. On aurait produit cet échauffement par un fort courant électrique; mais il fallait que l'avantage retiré répondît aux dépenses que cela nécessiterait avec les risques d'insuccès. Je n'osai essayer cette voie, et j'en cherchai et pris une autre qui ne coûta presque rien, et conduisit entièrement au but.

« On sait que lorsqu'on attache aux deux pôles d'une pile deux fils métalliques et qu'on les amène dans un vase d'eau, il se dégage de l'oxygène au pôle positif, et que lorsque cette électrode n'est pas d'un métal noble (or, argent, platine, etc.), l'oxygène se combine avec le métal pour former un oxyde.

« On sait également que les oxydes sont de mauvais conducteurs de l'électricité.

« Si donc mon opinion était exacte, que la gutta-percha, pendant la pose du câble, eût été affectée de gerçures, en appliquant à ces fissures l'action permanente d'une forte pile, et de telle sorte que le pôle positif fût sur le fil et le

pôle négatif à la terre, elles devaient se remplir d'oxyde, et le but serait atteint.

« Je chargeai le bureau télégraphique de Lucerne d'entreprendre cette opération avec 72 éléments : ce bureau est à neuf lieues du point du lac des Quatre-Cantons où le câble est immergé ; le courant devait donc parcourir un conducteur de cette longueur.

« Lorsque le fil était interrompu au delà du lac des Quatre-Cantons, le courant présentait des pertes qui s'élevaient à 32 et jusqu'à 36 degrés de notre galvanomètre (le galvanomètre avait 32 spires ; la force du courant avec lequel on transmet habituellement mesure 30 degrés).

« L'opération avait commencé le 5 décembre au matin ; le 8 du même mois, je reçus la dépêche de service suivante :

« L'opération fait merveille. Dérivation du câble sous-ma-
« rin de Lucerne à Altdorf, 3 degrés ; d'Altdorf à Lucerne,
« 2 degrés ; détails par courrier. »

« Par la lettre qui me parvint, j'appris que le premier jour pendant lequel on avait envoyé un courant constant, la dérivation n'avait pas diminué ; mais, dès le commencement du second, la dérivation n'était que de 20 degrés ; au troisième, elle n'était plus que de 8 degrés, et, le quatrième, le résultat indiqué plus haut était atteint.

« Au bout de trois semaines, pendant lesquelles la pile avait été entretenue en bon état, il y avait encore 1 degré de dérivation.

« Depuis cette époque, l'opération a été poursuivie et achevée au moyen de courants permanents. Je donnai l'ordre au bureau de Lucerne de relier cette ligne à ses piles, de telle sorte que le pôle positif fût toujours sur la ligne et le pôle négatif à la terre.

« Par une expérience en petit, on arrive à reconnaître que non-seulement une fissure dans la gutta-percha peu sous l'eau se remplir d'oxyde, mais encore que cet oxyde

finit par se dessécher sous l'action d'un courant permanent. »

Fils souterrains. — Système de M. Royer. — Nous avons déjà parlé, dans notre premier volume de l'*Exposé*, des inconvénients des fils aériens dans les villes, et des expériences faites à Paris pour leur substituer des fils souterrains isolés au moyen du bitume. Bien que ces essais aient assez bien réussi, on n'a pas tardé à reconnaître qu'ils ne présentaient pas toute la sécurité désirable sur des parcours un peu étendus. En effet, la couche de bitume, pour une cause ou pour une autre, peut se gercer, se fendre et présenter quelques fissures qui, laissant un libre accès aux infiltrations, suffisent pour détruire l'isolement. D'ailleurs ce système entraînait à une dépense assez considérable, tant à cause de la difficulté de la pose que de la quantité de bitume qu'on était obligé d'employer lorsqu'il y avait plusieurs fils à conduire en même temps. M. Royer, de Laval, a cherché à résoudre ce problème d'une manière plus économique et en même temps plus complète, et dans ce but il a proposé le système suivant :

Au lieu de confiner le faisceau de fils qu'il s'agit d'isoler dans une rigole remplie de bitume, M. Royer fait passer ces fils dans une série de tuyaux de bois imprégnés de coltare, et les dépose ensuite sur une espèce de mandrin cannelé de plus petit diamètre que le trou des tuyaux, de manière qu'ils aient, au moyen des cannelures de ce mandrin, une position fixe et déterminée à l'intérieur des tuyaux. Ceux-ci sont ensuite réunis bout à bout et remplis de coltare par des trous ménagés sur chacun d'eux ; de sorte que les fils se trouvent non-seulement isolés mécaniquement les uns des autres, mais encore noyés dans une substance complétement isolante.

Bien que compliqué au premier abord, ce système peut être facilement exécuté en grand. D'abord les tuyaux de bois imprégnés de coltare existent déjà, et sont l'objet d'une

importante industrie à Angers. La machine qui les perfore est tellement disposée, qu'aucune parcelle de bois n'est perdue; les trous se trouvent, en effet, évidés circulairement dans le massif de bois, de telle sorte qu'un mandrin de bois plein ressort toujours du tuyau perforé. Ce mandrin, perforé à son tour, donne naissance à un autre mandrin qui peut fournir un nouveau tuyau, et ainsi de suite. On obtient donc de la sorte une série de tuyaux de diamètres différents qui peuvent s'ajuster les uns dans les autres. Dans la fabrique d'Angers, et avec des peupliers de grosseur ordinaire, on tire de chaque tronc trois numéros de tuyaux, plus un mandrin non perforé qui n'a pas jusqu'à présent eu d'emploi spécial. Or, c'est ce mandrin et le tuyau dont il sort que M. Royer veut employer pour les fils télégraphiques. La cannelure de ce mandrin n'offre d'ailleurs aucune difficulté.

Pour opérer la pose des fils, voici le moyen que M. Royer propose :

D'abord il enroule les fils qu'il s'agit d'isoler sur autant de bobines qu'il y a de fils, et ces bobines elles-mêmes sont montées sur un axe commun appartenant à un même treuil placé à l'une des extrémités de la tranchée ouverte pour recevoir le câble; une forte corde, passée à travers tous les tuyaux qui doivent composer la ligne ou le fragment de ligne qu'il s'agit d'établir, se trouve fixée à l'extrémité du faisceau de fils enroulés, et peut être tirée au moyen d'un treuil placé à l'autre extrémité de la tranchée. Toutefois, pour que la traction se fasse horizontalement, deux poulies, sur lesquelles passent le faisceau de fils et la corde, sont fixées aux deux extrémités de la tranchée, au-dessous des treuils. De cette manière le faisceau de fils est conduit horizontalement et presque sans frottement à travers les tuyaux au fond de la tranchée. Quand cette première opération est faite, on repousse un peu le premier tuyau, et on introduit le mandrin cannelé au milieu des fils, de manière qu'ils se rangent

suivant leur ordre dans les cannelures; on lie le faisceau sur le mandrin avec de la ficelle, et on place au-dessus le premier tuyau qui avait été écarté; on en fait autant pour le second tuyau et pour le second mandrin qu'on a placé contre le premier et qui lui fait suite; comme ce second tuyau présente devant l'extrémité évasée du premier un bout conique, les deux tuyaux s'emboîtent exactement et ne font plus qu'un. On répète la même opération pour les tuyaux 3, 4, 5, etc., jusqu'à ce qu'on arrive à l'extrémité de la tranchée, en ayant soin de bien tirer isolément les fils à chaque opération de raboutage. Enfin, quand tout est fini, on coule dans chaque tuyau le coltare jusqu'à ce que le tube, dans sa longueur, soit complétement rempli. Pour la commodité de l'opération, il est convenable de soutenir tous les tuyaux sur de petits chevalets au fond de la tranchée, afin que la terre ou autres matières étrangères ne pénètrent pas avec les fils.

M. Royer peut aussi, au lieu des mandrins cannelés, employer des fils recouverts d'étoffe et réunis en câble. L'opération de pose est la même.

M. Royer établit de la manière suivante les prix auxquels il pourrait installer son système :

ISOLEMENT AVEC MANDRIN CANNELÉ.

Tuyaux	de 42 millimètres	pour 2 fils.....	2f 80	le mètre.
—	—	pour 4 fils.....	2 90	—
—	—	pour 6 fils.....	3 40	—
—	—	pour 8 fils.....	4 00	—
—	de 54 —	pour 10 fils.....	4 30	—
—	—	pour 12 fils.....	5 00	—
—	de 81 —	pour 14 fils.....	5 30	—
—	—	pour 16 fils.....	5 60	—
—	—	pour 18 fils.....	5 90	—
—	—	pour 20 fils.....	6 30	—
—	—	pour 22 fils.....	6 60	—
—	de 108 —	pour 24 fils.....	7 00	—
—	—	pour 26 fils.....	7 30	—

Tuyaux de 108 millimètres	pour 28 fils.....	7f 60	—
—	—	pour 30 fils.....	7 90	—
—	—	pour 32 fils.....	8 20	—
—	—	pour 34 fils.....	8 50	—

Les frais de terrassement ne sont pas compris dans ces prix. En employant des fils recouverts de coton et réunis en câble, on obtiendrait une économie de 15 0/0.

On vient, du reste, d'essayer sur le boulevard des Invalides un nouveau système de fils souterrains qui ne présente guère de différence avec celui de M. Royer, et dont on attend de bons résultats. Dans ce système, les fils, noyés encore dans du bitume, sont réunis dans un tube en plomb de 2 à 3 centimètres de diamètre. On amène sur place le faisceau conducteur enroulé sur d'énormes cylindres, et on le développe pour l'enserrer au fur et à mesure de l'ouverture de la tranchée. Deux petites sapines sciées en deux et juxtaposées sur leur méplat le reçoivent dans la cavité formée par leur partie convexe; deux autres sapines semblables les recouvrent. Cette enveloppe protectrice suffira à les défendre de la pioche des terrassiers.

Fils de raccordement de M. de Lafollye. — M. de Lafollye a cherché aussi un système d'isolement des fils moins dispendieux et en même temps plus sûr que celui avec la gutta-percha et le bitume; mais ses essais n'ont pas eu toute la réussite qu'il en attendait. Néanmoins, il est arrivé à obtenir de bons fils de raccordement qui peuvent être appliqués avantageusement dans beaucoup de circonstances, même de préférence aux fils recouverts de gutta-percha[1]. Voici le pas-

1. La gutta-percha s'altère non-seulement à l'air en se fendillant, mais encore en terre, surtout dans le voisinage des racines de chêne; un revêtement en bois ne suffit même pas dans cette dernière circonstance pour la protéger. Il paraîtrait, d'après M. Highton, que cette altération serait due à la semence d'une sorte de champignons encore inconnue qui envahit la gutta-percha et la désagrége; cette substance s'altère aussi, mais d'une autre manière, dans des tuyaux de fer.

sage de la lettre de M. de Lafollye dans laquelle il décrit son procédé :

« Le câble dont je vous ai envoyé un échantillon est composé de 3 fils de cuivre de 1 millimètre de diamètre. Chacun d'eux est enveloppé d'une robe isolante, et le câble qu'il compose est aussi revêtu d'une enveloppe semblable. Les trois fils sont tordus en hélice à pas allongés, afin de permettre une très-facile flexion du câble. Le diamètre total est d'environ 5 millimètres, ce qui ne laisse qu'une assez petite épaisseur de matière isolante entre les fils. Évidemment ce câble ne pourrait pas être employé sur de grandes longueurs, ni plongé dans un milieu conducteur, à cause des effets d'induction et de condensation qui en résulteraient ; mais il est parfaitement applicable aux raccordements des lignes télégraphiques dans les passages qu'on veut dissimuler, ou bien dans ceux où l'espace manque. Sa flexibilité permet de lui faire suivre tous les contours possibles sans exiger de supports isolants spéciaux. Il suffit qu'il soit assez bien assujetti et garanti pour qu'il n'éprouve pas de frottement continuel ou de choc violent qui détériorerait l'enveloppe.

« Cette enveloppe isolante se compose d'une robe de fils de coton tissés, pénétrée de l'huile coagulée de M. Fritz Sollier. Ce manufacturier a profité de la propriété que possède l'huile portée à une température élevée de se coaguler sous l'action d'une très-petite quantité d'un acide puissant, pour produire une substance parfaitement élastique, soluble dans plusieurs véhicules et particulièrement dans l'essence de térébenthine. C'est cette substance que j'introduis dans le tissu de l'enveloppe au moyen de plusieurs bains et de la chaleur. La gaîne isolante qui en résulte a sur la gutta-percha un avantage important : c'est celui de ne pas se détériorer à l'air, et de subir sans accident les variations climatériques les plus prononcées ; mais elle ne jouit malheureusement pas d'une imperméabilité parfaite. Cette imperméabilité, qui

existe plus que suffisamment quand on applique le produit de M. Fritz Sollier à la manière du caoutchouc sur des surfaces destinées à résister à des mouillages successifs, est incomplète au point de vue de l'isolement quand l'enveloppe reste plongée pendant longtemps dans un liquide conducteur. La perméabilité qui en résulte ne se manifeste pas mécaniquement; mais on la conclut évidemment de l'expérience suivante : on a plongé dans un liquide conducteur neutre (tel qu'une solution concentrée de sulfate de cuivre) une partie de câble dont les deux bouts sont restés hors du liquide. On a mis une extrémité de deux des fils qui composent le câble en relation avec les pôles d'une pile Daniell de 20 éléments, en intercalant dans le circuit un galvanomètre sensible. — Pendant près d'un mois, il ne s'est manifesté aucun courant; mais, après cette période, le passage du courant d'un fil à l'autre a donné une déviation de plus en plus considérable du galvanomètre.

« Ce moyen de constater la perméabilité est, je crois, un de ceux auxquels résisteraient bien peu des substances élastiques, dites imperméables, autres que le caoutchouc pur et la gutta-percha, en admettant même, bien entendu, qu'il n'y aurait pas de double décomposition entre le bain et la substance éprouvée.

« Quoi qu'il en soit, je pense, Monsieur, que le mode d'isolement dont je vous envoie un spécimen est très-utilement applicable à l'air, au soleil, à la pluie, le long des bâtiments, et à plus forte raison à l'intérieur. A ces divers points de vue, il peut rendre quelques services. »

Fils électriques de M. Prudhomme. — M. Prudhomme, actuellement le successeur de M. J. Mirand, et le grand fabricant de sonnettes électriques, s'est efforcé depuis longtemps d'organiser des fils qui fussent à l'abri des fréquentes ruptures qui ont fait et font encore souvent le désespoir des amateurs d'électricité. Il a sinon résolu complétement le problème,

du moins réussi à mettre ses fils dans d'assez bonnes conditions pour qu'on n'ait plus à s'en plaindre, ce qui est un grand point. Il est vrai que, pour obtenir ce résultat, il ne fournit plus que *du fil assez gros* (d'environ 1 millimètre), et il a soin de le garnir de corps non-seulement isolants, mais encore capables de repousser l'humidité. Ainsi, son fil ordinaire pour l'intérieur des appartements est d'abord recouvert d'une première couche de coton fortement imprégnée de cambouis, et, pour dissimuler la vue et l'odeur peu favorables de cette substance, il enroule par-dessus une deuxième couche de coton de la couleur que l'on désire. Son fil, pour traverser les murailles et les endroits humides, est recouvert d'une couche de gutta-percha; mais cette gutta-percha a été passée au laminoir, et se trouve appliquée en feuilles, ce qui lui donne une plus grande ténacité et en même temps l'empêche de se fendiller aussi facilement. D'ailleurs, au-dessus de cette couche qui est très-mince se trouve enroulée une autre couche de fils de coton, de sorte que non-seulement le fil est protégé par la gutta-percha, mais encore celle-ci se trouve elle-même protégée par le coton. Ces fils ont jusqu'à présent très-bien réussi.

Communications électriques sans fils conducteurs. — Nous avons déjà parlé dans notre premier volume, page 48, d'expériences faites à Portsmouth en vue d'obtenir des communications électriques entre deux stations sans autres conducteurs que l'eau d'une rivière passant par ces deux stations. Nous avons même expliqué comment une pareille communication pouvait avoir lieu dans le cas où les deux stations étaient très-rapprochées, et comment elle devenait impossible lorsque la distance de ces stations était quelque peu considérable. Des expériences de même genre ont été entreprises dernièrement par M. Gintt, en prenant le sol lui-même comme conducteur, et voici le résumé de la communication faite par lui à ce sujet à l'assemblée des naturalistes

allemands : « Si les pôles d'une pile, dit-il, sont mis en communication chacun avec une plaque qui pénètre dans le sol, et si, à une certaine distance, on dispose deux plaques semblables, pénétrant, comme les deux premières, à une certaine profondeur, mais reliées seulement par un galvanomètre, on peut constater le fait suivant : au moment où l'on ferme le circuit entre les plaques en rapport avec la pile, un courant se manifeste dans les plaques reliées par le galvanomètre. *C'est une sorte d'influence qui paraît s'exercer de loin.* Il est donc possible, ajoute M. Gintt, de transmettre, dans certains cas, des signaux électriques sans fils conducteurs, à la condition d'employer des batteries d'une grande force. »

Nous sommes réellement étonnés que M. Gintt, qui cependant a découvert le premier les moyens de correspondre simultanément d'une station à une autre à travers un même fil, ait pu présenter comme nouvelles ces expériences, et surtout qu'il les ait expliquées par des influences à distance. Ce phénomène, pourtant, n'est pas nouveau et se présente continuellement, non-seulement dans les expériences de cabinet, mais encore dans les transmissions télégraphiques elles-mêmes quand les appareils sont très-sensibles. Ainsi on a vu souvent les télégraphes de M. Gloesener entrer en mouvement sous la seule influence d'un courant transmis à travers le circuit d'une ligne voisine. Ces effets, qui tiennent à des dérivations de courants, se montrent de mille manières dans les bains galvanoplastiques, et toutes les fois qu'on plonge dans un liquide traversé par un courant les deux extrémités d'un fil au milieu duquel est interposé un galvanomètre. Or, si l'on se rappelle les lois des courants dérivés, on comprendra immédiatement que de pareilles manifestations électriques ne peuvent avoir lieu que tant que le circuit dérivé qui les fournit n'est pas notablement plus long que le circuit principal, c'est-à-dire tant que l'appareil électrique qui les constate n'est pas très-éloigné de la pile mise en rapport avec le sol.

Avant de terminer ce chapitre sur les circuits et les courants, qu'il nous soit permis de nous extasier un peu, ne fût-ce que pour l'édification de nos lecteurs, sur les inexactitudes que recèlent une foule d'articles écrits sur les télégraphes sous-marins par certains folliculaires, qui s'imaginent qu'on peut faire de la science au mètre comme de la littérature, et qui croient que, parce qu'ils sauront arrondir élégamment une phrase, ils pourront parler sur tout avec autorité. C'est grâce à de pareils articles, qui malheureusement sont publiés dans quelques journaux et recueils assez répandus, que les erreurs se propagent, que les vrais inventeurs se trouvent dépouillés, que M. Morse, par exemple, se trouve posé en inventeur non-seulement de la télégraphie électrique, mais encore de la télégraphie sous-marine, etc., etc. En France on ne doute de rien, et ce sont ceux qui savent le moins qui font le plus de bruit. Un peu de circonspection, s'il vous plaît, messieurs les écrivains, et rappelez-vous ce que certain roi disait, il n'y a pas encore bien des années : *Pour faire un civet, il faut un lièvre,* ce qui peut être traduit par ces mots : *Pour faire des articles de science, il faut être savant.*

ÉLECTRO-AIMANTS ET SYSTÈMES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

Depuis la publication du premier supplément à mon ouvrage, j'ai eu occasion de faire de nouvelles expériences sur les électro-aimants qui complètent d'une manière assez utile celles qui ont fait l'objet de ce supplément; d'ailleurs, d'autres dispositions ingénieuses d'électro-aimants ont été prises depuis cette époque, et méritent une mention spéciale.

Dans mon *Traité du magnétisme,* publié l'année dernière, j'ai signalé un phénomène assez curieux qui semble être au premier abord en désaccord avec la théorie, mais qui s'y rattache pourtant en faisant subir à cette théorie une modifi-

cation que j'ai longuement discutée dans l'ouvrage en question. Ce phénomène est le suivant :

Si l'on magnétise alternativement un cylindre de fer doux à l'aide de deux hélices de différente taille constituées par une même longueur de fil, la force polaire de ce cylindre de fer mesurée à l'extrémité des hélices magnétisantes sera toujours plus forte avec l'hélice courte qu'avec l'hélice longue.

Mes expériences de l'année dernière n'avaient porté que sur deux hélices seulement. Or, il était curieux de savoir si cette augmentation de force avec la brièveté de l'hélice n'était pas susceptible d'un maximum et d'un minimum. A cet effet, j'ai fait construire quatre bobines dont les longueurs étaient multiples les unes des autres, et j'ai enroulé sur chacune d'elles une même longueur de fil (50 mètres). La plus courte de ces hélices n'avait que 2 centimètres de longueur, la plus longue 16 centimètres, et les deux intermédiaires 4 et 8 centimètres. Voici les résultats que j'ai obtenus en me servant de deux piles différentes de 8 et de 16 éléments de Daniell et d'un même barreau de fer doux de 16 centimètres de longueur.

1° Hélice de 2 centimètres avec 8 éléments de pile :

Attraction à 1 millimètre	.....	18 gr.
— à 2 —	.....	6
— à 3 —	.....	2

2° Même hélice avec une pile de 16 éléments :

Attraction à 1 millimètre	.....	47
— à 2 —	.....	18
— à 3 —	.....	9

3° Hélice de 4 centimètres avec 8 éléments de pile :

Attraction à 1 millimètre	.....	25
— à 2 —	.....	8
— à 3 —	.....	4

4° Même hélice avec pile de 16 éléments :

Attraction à 1 millimètre	.....	67

Attraction à 2 millimètres..... 25 gr.
— à 3 — 14

5° Hélice de 8 centimètres avec 8 éléments :
Attraction à 1 millimètre..... 23
— à 2 — 8
— à 3 — 3

6° Même hélice avec 16 éléments à la pile :
Attraction à 1 millimètre..... 65
— à 2 — 25
— à 3 — 14

7° Hélice de 16 centimètres, 8 éléments à la pile :
Attraction à 1 millimètre..... 12
— à 2 — 3
— à 3 — 1

8° Même hélice avec 16 éléments à la pile :
Attraction à 1 millimètre..... 27
— à 2 — 12
— à 3 — 8

La pile de 16 éléments était composée de deux piles de Daniell de 8 éléments chacune, réunies toutes deux par leurs pôles de mêmes noms. Cette disposition de la pile était la plus avantageuse dans les conditions où je m'étais placé en raison de la brièveté du fil des hélices.

On voit, d'après les chiffres précédents, que la longueur des hélices par rapport au maximum de la force polaire qu'elles développent, est susceptible, comme il était d'ailleurs facile de le prévoir, d'un maximum, qui est atteint à peu près quand la masse de fer dépassant l'hélice est trois fois plus grande que cette hélice elle-même, et cela quelle que soit l'intensité du courant. Quant au minimum, il peut y en avoir deux, l'un correspondant à une hélice infiniment courte, l'autre à l'hélice la plus longue; mais dans les conditions où j'ai expérimenté le véritable minimum correspond à l'hélice de 16 centimètres. Ainsi, bien qu'une hélice de 2 centimètres ne soit pas dans les conditions de maximum de force, l'action polaire qu'elle développe est beaucoup plus grande

que celle qui résulte d'une hélice de 16 centimètres. Ce phénomène s'explique d'ailleurs facilement si l'on réfléchit que, dans le cas des hélices longues, aucune masse de fer ne surexcite le magnétisme produit directement par l'hélice, et qu'on se trouve par conséquent dans de mauvaises conditions. Avec l'hélice de 2 centimètres, au contraire, la masse de fer qui réagit sur le noyau magnétisé est huit fois plus considérable que celle de ce noyau ; cette masse se trouve alors, il est vrai, avoir dépassé la limite d'effet utile que nous avons reconnue pour ces sortes de réactions, mais elle n'en exerce pas moins pour cela son effet, et cet effet est plus énergique que celui produit par l'hélice elle-même. Le contraire arrive précisément avec la bobine de 8 centimètres ; la masse de fer qui la dépasse n'est plus assez considérable pour réagir avec toute son efficacité sur le noyau magnétisé, et ce n'est qu'avec la bobine de 4 centimètres que les conditions voulues pour obtenir tout l'effet avantageux de ces sortes de réactions se trouvent à peu près remplies.

La conséquence de ces expériences c'est que, quand on veut utiliser la force polaire d'un électro-aimant droit, il faut concentrer autour du pôle qui doit réagir, les spires de l'hélice magnétisante, en ayant soin de laisser dépasser en dehors de cette hélice une masse de fer égale environ à trois ou quatre fois celle du noyau recouvert.

Si, au lieu d'estimer la force polaire produite par les quatre hélices précédentes sur un même cylindre de fer, on estimait celle que ces hélices produiraient en réagissant sur des morceaux de fer de même longueur qu'elles, on retrouverait une tout autre loi. Alors les forces polaires croîtraient avec la longueur des bobines, non pas proportionnellement comme quelques savants l'ont cru, mais dans un rapport particulier qu'on pourrait préciser par l'énoncé suivant : *Les forces polaires croissent dans un rapport arithmétique alors que les électro-aimants eux-mêmes croissent en longueur dans un*

rapport géométrique. Cette loi est vraie, quelle que soit l'intensité de la pile et la distance de l'attraction, et on peut s'en convaincre par les chiffres suivants :

1° Hélice de 2 centimètres, fer de 2 centimètres, 8 éléments à la pile :

Attraction à 1 millimètre	3 gr.
— à 2 —	2

2° Même électro-aimant avec 16 éléments à la pile :

Attraction à 1 millimètre	11
— à 2 —	3

3° Électro-aimant de 4 centimètres, 8 éléments à la pile :

Attraction à 1 millimètre	6
— à 2 —	2 1/2

4° Même électro-aimant avec 16 éléments :

Attraction à 1 millimètre	16
— à 2 —	6
— à 3 —	3

5° Électro-aimant de 8 centimètres avec 8 éléments à la pile :

Attraction à 1 millimètre	9
— à 2 —	3

6° Même électro-aimant avec 16 éléments à la pile :

Attraction à 1 millimètre	22
— à 2 —	9
— à 3 —	5

7° Électro-aimant de 16 centimètres, 8 éléments à la pile :

Attraction à 1 millimètre	12
— à 2 —	3
— à 3 —	1

8° Même électro-aimant avec 16 éléments :

Attraction à 1 millimètre	27
— à 2 —	12
— à 3 —	8

Si l'on compare ensemble les chiffres 3, 6, 9, 12, qui représentent les séries attractives à 1 millimètre des différentes hélices avec une pile de 8 éléments, on trouve effectivement qu'ils forment une progression arithmétique dont la raison est 3. Or les chiffres 2, 4, 8, 16, qui représentent les longueurs différentes des électro-aimants, forment une progres-

sion géométrique dont la raison est 2. Il en est de même des chiffres 11, 16, 22, 27, correspondant aux attractions produites par une pile de force double. Mais nous remarquerons que la raison de la progression se trouve alors augmentée du double, puisqu'elle est à peu près 6. Ceci nous montre que la rapidité de croissance de la force attractive avec la longueur des électro-aimants droits est proportionnelle à la force électrique qui est en jeu, et si on ajoute à cette conclusion celle qu'on peut déduire de la comparaison des chiffres 3, 6, 9, 12, représentant les attractions produites à 2 millimètres par la pile de 16 éléments, on trouve que cette rapidité de croissance de la force attractive est aussi en raison inverse des distances d'écartement des armatures.

Comme dans les électro-aimants droits il n'y a d'utilisé que la force d'un seul pôle, on n'a guère à se préoccuper des conditions de force des deux réunis. Pourtant, si l'on veut avoir égard à cette circonstance, comme cela doit avoir lieu quand on fait de ces électro-aimants des électro-aimants boiteux, les conditions de force que nous venons d'étudier changent complétement, et l'avantage reste toujours aux hélices les plus longues. C'est ce que démontrent les expériences suivantes faites avec un fer d'électro-aimant en fer à cheval dont les branches avaient 16 centimètres de longueur.

1° Électro-aimant boiteux muni d'une bobine de deux centimètres. — Pile, 8 éléments :

Attraction	à 1	millimètre	47 gr.
—	à 2	—	15
—	à 3	—	7

2° Mêmes expériences répétées avec une pile de 16 éléments :

Attraction	à 1	millimètre	114
—	à 2	—	37
—	à 3	—	19

3° Électro-aimant boiteux avec bobine de 4 centimètres. — Pile de 8 éléments :

Attraction à 1 millimètre..... 55 gr.
— à 2 — 20
— à 3 — 8

4° Mêmes expériences avec une pile de 16 éléments :

Attraction à 1 millimètre..... 145
— à 2 — 50
— à 3 — 25

5° Électro-aimant boiteux avec bobine de 8 centimètres, 8 éléments à la pile :

Attraction à 1 millimètre..... 75
— à 2 — 27
— à 3 — 14

6° Mêmes expériences avec une pile de 16 éléments :

Attraction à 1 millimètre..... 172
— à 2 — 60
— à 3 — 34

7° Électro-aimant boiteux avec bobine de 16 centimètres, 8 éléments à la pile :

Attraction à 1 millimètre..... 80
— à 2 — 28
— à 3 — 15

8° Mêmes expériences avec pile de 16 éléments :

Attraction à 1 millimètre..... 192
— à 2 — 62
— à 3 — 37

Les réactions sont tellement complexes dans les électro-aimants boiteux, qu'il est impossible de déduire des chiffres précédents quelques rapports simples existant entre les différentes longueurs d'hélices et les forces attractives; mais cet accroissement successif de la force, à mesure que l'hélice magnétisante s'allonge, n'a rien qui puisse surprendre, puisque, quelque longue que soit cette hélice, elle est toujours plus courte que la longueur totale du fer de l'électro-aimant; de sorte que la culasse et la branche sans bobine qui croissent en même temps seront toujours suffisantes pour produire la surexcitation polaire à laquelle les électro-aimants boiteux doivent leur énergie. Il n'y a donc que pour les hé-

lices très-courtes que l'affaiblissement de force dû au trop grand développement de la partie nue du fer de l'électro-aimant peut exister.

Avec les électro-aimants en fer à cheval à deux bobines dont la culasse reste invariable, la force attractive croît également avec la longueur des hélices magnétisantes. Ce résultat semble en contradiction avec les déductions de M. Nicklès. Mais cette discordance s'explique aisément si l'on remarque que, dans les expériences de M. Nicklès, la longueur des hélices restait toujours la même, et qu'il n'y avait de variable que la longueur des branches de fer de l'électro-aimant. Or, dans ce cas, la force devait rester la même, quelle que fût cette longueur, ainsi que je l'ai démontré dans mon ouvrage sur le magnétisme. Dans le cas qui nous occupe, au contraire, la force électro-magnétique doit profiter de la plus grande étendue du fer magnétisé directement par les hélices, car cette magnétisation n'empêche pas la réaction réciproque des deux branches l'une sur l'autre. Voici, du reste, les chiffres que l'expérience m'a fournis :

1° Électro-aimant à deux branches ayant chacune 16 centimètres de longueur. — Bobines de 2 centimètres de longueur. — 8 éléments à la pile :

Attraction à 2 millimètres	.....	40 gr.
— à 3 —	.....	22

2° Mêmes expériences avec pile de 16 éléments :

Attraction à 2 millimètres	.....	95
— à 3 —	.....	50

3° Électro-aimant de même longueur avec des bobines de 4 centimètres. — 8 éléments à la pile :

Attraction à 2 millimètres	.....	55
— à 3 —	.....	30

4° Électro-aimant id. avec bobines de 8 centimètres. — 8 éléments à la pile :

Attraction à 2 millimètres	.....	75
— à 3 —	.....	42

5° Électro-aimant id. avec bobines de 16 centimètres de longueur. — 8 éléments à la pile :

Attraction à 2 millimètres	.....	85 gr.
— à 3 —	.....	45

Ces chiffres sont trop peu concordants pour que j'essaie d'en déduire des rapports. Mais M. Dub a étudié suffisamment cette question pour que je n'y revienne pas en ce moment. Je terminerai en rapportant quelques expériences que je viens de faire sur l'influence de la forme des armatures des électro-aimants par rapport à l'attraction.

Tous les télégraphes allemands et américains, voire ceux que MM. Digney construisent pour l'administration, ont des armatures d'électro-aimants de forme cylindrique. Tous les autres télégraphes, au contraire, ont leurs armatures prismatiques et posées à plat sur l'électro-aimant. Je ne rechercherai pas ici quel motif a engagé les constructeurs des télégraphes allemands et américains à adopter la forme cylindrique, mais j'ai voulu m'assurer si des armatures de ce genre étaient dans de meilleures conditions de force que les armatures prismatiques. Pour cela j'ai fait construire une armature cylindrique et une armature prismatique, de manière à présenter une même surface extérieure; l'armature cylindrique avait 16 millimètres de diamètre sur 81 millimètres de longueur, et pesait 132 grammes; l'armature prismatique avait 81 millimètres de longueur, 19 de largeur et 6 d'épaisseur; elle pesait 75 grammes. Les deux surfaces avaient $40^{mm},50$ carrés. La force attractive de l'armature cylindrique à 2 millimètres a été 44 grammes; à 3 millimètres, 22 grammes. La force de l'armature prismatique posée à plat a été, à 2 millimètres, 85 gram., et à 3 millim., 35 gram. On peut donc conclure de là que la forme cylindrique est beaucoup moins avantageuse pour le développement de la force attractive que la forme prismatique, bien que pourtant la masse de celle-ci ait été dans mes expériences 1,8 fois

moins considérable que la masse de celle-là. Il est d'ailleurs facile de comprendre qu'il doit en être ainsi, car dans une armature cylindrique les différentes particules qui sont soumises à l'induction sont, en somme, beaucoup plus éloignées des pôles de l'électro-aimant que dans les armatures prismatiques posées à plat.

Pour épargner à ceux de nos lecteurs qui s'occupent de la construction des appareils électriques de trop grandes recherches dans notre étude d'électro-magnétisme publiée l'année dernière, nous allons donner ci-dessous les déductions pratiques de toutes les expériences qui ont été rapportées dans cet ouvrage, et même de celles que nous venons d'étudier précédemment. On aura ainsi un résumé à peu près complet des conditions de force des électro-aimants.

Des différentes expériences qui ont été entreprises sur les conditions de force des électro-aimants, il résulte :

1° Que la force polaire d'un électro-aimant droit, dont on augmente la force par l'adjonction d'une masse de fer à son pôle libre, augmente avec *la surface* de cette masse jusqu'à ce que cette surface présente un développement à peu près triple de celui du noyau directement magnétisé par l'hélice. En revanche, la force du pôle ainsi muni de cette masse de fer est considérablement diminuée, et décroît encore rapidement à partir de l'extrémité de l'hélice correspondant à ce pôle ;

2° Que le maximum de cette augmentation de force polaire peut être obtenu avec telle masse de fer que l'on voudra, à condition de réveiller la polarité affaiblie du pôle muni de la masse de fer à l'aide d'un aimant ou d'un électro-aimant ;

3° Que les électro-aimants boiteux, c'est-à-dire n'ayant qu'une bobine sur l'un de leurs pôles, sont presque aussi énergiques, pour la même longueur d'hélice, que les électro-aimants à deux bobines, surtout si la bobine est placée sur le pôle où se trouve articulée l'armature ;

4° Que les électro-aimants trifurqués et tubulaires sont plus énergiques que les électro-aimants à deux branches, surtout au contact ;

5° Que les électro-aimants à deux branches ont d'autant plus de force que leurs pôles sont plus écartés, jusqu'à une certaine limite cependant ;

6° Que les électro-aimants à armatures aimantées n'ont plus de force que les électro-aimants à armatures de fer doux que dans le cas où ces armatures sont très-énergiquement aimantées, ou quand elles sont placées devant l'électro-aimant de manière à se mouvoir parallèlement à la ligne de leurs pôles ;

7° Que la force attractive résultant de la fermeture d'un courant est toujours, pour une même distance d'écartement de l'armature, plus grande que celle provenant de l'action continue du même courant qu'on chercherait à vaincre en augmentant la force antagoniste ;

8° Que la disposition de l'armature *à plat* par rapport aux pôles de l'électro-aimant est plus favorable à l'attraction à distance que la disposition sur champ, ce qui est l'inverse des effets produits par l'attraction au contact ;

9° Que la disposition dans laquelle les armatures se meuvent angulairement par rapport à la ligne des pôles de l'électro-aimant est toujours la plus favorable, surtout pour les électro-aimants boiteux ;

10° Que l'effet mécanique produit par des électro-aimants dont l'armature se meut parallèlement à la ligne de leurs pôles est plus énergique quand ils ont deux bobines que quand ils sont boiteux, bien qu'ils aient à peu près la même force ;

11° Que les armatures de forme cylindrique fournissent une attraction beaucoup moins grande que les armatures prismatiques posées à plat par rapport aux pôles de l'électro-aimant ;

12° Que la force attractive exercée latéralement par les pôles des électro-aimants est toujours moins énergique que celle qui résulte de l'attraction normale; elle l'est d'autant moins que les armatures sont plus éloignées des points des pôles sortants qui correspondent aux extrémités des bobines;

13° Que la force attractive à distance et au contact pour un même écartement de l'armature des électro-aimants ne croît pas proportionnellement au nombre des éléments de la pile, mais qu'elle acquiert cette tendance à mesure que les spires de l'hélice se multiplient;

14° Que la diminution de la force attractive avec la distance d'écartement de l'armature dépend du nombre d'éléments de la pile et du nombre de spires de l'hélice. En général, cette diminution est d'autant moins rapide que le nombre des éléments de la pile employée est plus considérable et que les spires de l'hélice magnétisante sont plus nombreuses;

15° Que la force attractive au contact ne bénéficie pas autant de la multiplicité des spires que la force attractive à distance, surtout quand le nombre des éléments de pile employés est considérable;

16° Que la force attractive avec des éléments disposés en quantité augmente, mais dans une proportion très-faible, il est vrai, avec le nombre des éléments de la pile et le nombre des rangées de l'hélice magnétisante, ce que généralement on n'admet pas;

17° Que, pour les hélices formées par le même nombre de tours de spires, l'attraction produite par les électro-aimants à deux branches est comme le carré des intensités des courants, et qu'à égalité de courants l'attraction de ces aimants est comme le carré du nombre de tours de spires de l'hélice; d'où il résulte que l'attraction, considérée par rapport à ces deux éléments, est proportionnelle au carré du

courant multiplié par le carré du nombre de tours de spires ;

18° Que le maximum de force dont un électro-aimant est susceptible est obtenu lorsque la résistance à la conductibilité de son hélice magnétisante est égale à celle du circuit dans lequel elle est interposée, augmentée de la résistance intérieure de la pile ;

19° Que les avantages qu'on peut avoir à placer des électro-aimants sur des dérivations établies à partir des pôles mêmes de la pile, ou à les interposer dans un même circuit, dépendent de la nature de la pile et du nombre d'éléments qui la constituent ; qu'avec les piles qui produisent beaucoup d'électricité, comme les piles Bunsen, Wollaston, Smée, etc., et en général les piles à grande surface, les bifurcations à partir de la source sont préférables, mais que le contraire a lieu quand ces piles produisent peu d'électricité, comme les piles de Daniell, les piles à sable, et en général les piles à petite surface ;

20° Que quand la pile se compose d'un certain nombre d'éléments, il peut arriver, quelle que soit sa nature, mais surtout avec les piles de Daniell, qu'on ait avantage à ne pas diviser le courant ;

21° Que quand on est obligé de bifurquer ou trifurquer un circuit, on doit disposer la pile en surface et égaliser la résistance des divers circuits par la grosseur qu'on donnera aux fils qui les constituent ;

22° Que la force des électro-aimants en eux-mêmes pour un courant invariable, est proportionnelle aux racines carrées des diamètres des noyaux magnétisés, d'où il résulte que l'attraction exercée sur leur armature est proportionnelle aux diamètres de ces noyaux de fer ;

23° Que la force des électro-aimants à deux branches conservant toujours les mêmes hélices magnétisantes et étant animés par une même force électrique, est indépendante de

la longueur de leurs noyaux de fer, si toutefois ces noyaux conservent le même écartement;

24° Que l'attraction des électro-aimants est toujours proportionnelle aux longueurs de leurs noyaux magnétisés quand le rapport entre la longueur de ces noyaux et celle des armatures reste constant;

25° Que la force attractive d'électro-aimants de même longueur est proportionnelle à la longueur de la plus courte partie, qui peut être ou l'électro-aimant ou l'armature, que les deux parties ou une seule soient recouvertes sur toute leur longueur de la spirale galvanique;

26° Que parmi les systèmes d'électro-aimants de même longueur, celui chez lequel l'électro-aimant et l'armature sont de même longueur, exerce le maximum d'attraction;

27° Que les maxima de force attractive dans les différents systèmes d'électro-aimants, sont proportionnels aux longueurs de ces divers systèmes;

28° Que les forces attractives des électro-aimants de longueur quelconque sont égales lorsque les plus courtes portions qui les constituent (l'électro-aimant ou l'armature) sont égales entre elles.

29° Que l'action d'hélices de différentes tailles, composées d'une même longueur de fil et agissant sur un même fer d'électro-aimant, est bien différente, suivant que ces hélices recouvrent entièrement ou partiellement ce fer. Elle donne lieu à un maximum et à deux minima. L'un de ces minima se révèle lorsque le fer est entièrement recouvert par l'hélice magnétisante; l'autre minima est idéal et correspond à la plus petite longueur possible d'hélice. Toutefois, ce dernier minima, dans les circonstances ordinaires de l'expérimentation, est toujours de valeur moindre que le premier minima. Quant au maximum, il a lieu lorsque la masse de fer qui dépasse l'hélice est environ trois ou quatre fois celle du noyau magnétisé.

30° Que la force attractive d'électro-aimants droits de différentes longueurs, dont les hélices magnétisantes sont constituées par une même longueur de fil, croît avec leur longueur dans un rapport particulier qui est celui d'une progression arithmétique, alors que les longueurs croissent en progression géométrique. De plus, la raison de cette progression arithmétique est dans un rapport constant avec la force électrique qui agit sur l'électro-aimant et avec le degré de la force magnétique développée.

31° Que la force attractive d'un même électro-aimant boiteux ou à deux bobines, dont on fait varier la longueur des bobines sans changer celle du fil qui les entoure, croît toujours avec la longueur de ces bobines, mais dans un rapport très-complexe qui semble diminuer de valeur à mesure que cette longueur augmente.

Relativement aux lois de la vitesse de chute des armatures sous l'influence électro-magnétique et de la vitesse de saturation magnétique des électro-aimants, on peut déduire les conclusions suivantes :

1° Les vitesses de chute des armatures sont proportionnelles aux forces électro-magnétiques qui agissent sur elles;

2° Les vitesses de saturation magnétique sont proportionnelles aux racines carrées des forces attractives et en raison inverse des racines carrées des surfaces magnétisées.

Enfin, les effets observés de la force coërcitive peuvent conduire aux déductions suivantes :

1° La décroissance du magnétisme rémanent avec la distance à laquelle il exerce son action, s'effectue dans un rapport infiniment plus rapide que la force attractive, et devient en général nul à un tiers de millimètre.

2° Cette décroissance est infiniment plus rapide pour les armatures de fer doux que pour les armatures aimantées, à cause de la réaction magnétique de celles-ci.

3° La disposition dans laquelle les armatures se meuvent

parallèlement à la ligne des pôles de l'électro-aimant, est plus favorable à l'action du magnétisme rémanent que la disposition angulaire.

4° L'action d'un aimant fixe réagissant sur l'armature d'un électro-aimant par des pôles, de même nom que ceux de l'électro-aimant qui agissent sur elle, détruit à peu près complétement la force coercitive, mais en diminuant légèrement la force attractive.

5° Le magnétisme rémanent croît avec l'intensité de la pile, mais dans un rapport moins rapide que l'accroissement de cette intensité. Il est relativement d'autant plus considérable par rapport à la force attractive que celle-ci elle-même est moins grande.

6° Le magnétisme rémanent est d'autant moins énergique relativement que l'hélice magnétisante est plus longue et que l'intensité de la pile est plus considérable.

7° Plus la masse de fer des électro-aimants est considérable, plus le magnétisme rémanent est développé.

DISPOSITIONS DIVERSES DE SYSTÈMES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

Systèmes imaginés pour augmenter l'écartement des armatures sans nuire à la force électro-magnétique. — L'une des plus grandes difficultés que l'on rencontre dans l'application de l'électro-magnétisme comme force motrice est la brièveté excessive de la course que peuvent accomplir les pièces qui subissent les effets de l'attraction électro-magnétique; aussi, depuis longtemps, a-t-on cherché à augmenter, soit par des moyens mécaniques, soit par des moyens physiques, l'amplitude de cette course, et l'on y est plus ou moins arrivé à l'aide de systèmes ingénieux qui, s'ils ne résolvent pas définitivement le problème des électro-moteurs, peuvent toujours être d'un grand secours dans une foule d'autres applications électriques. Bien que nous ayons déjà parlé de

quelques-uns de ces systèmes, nous croyons utile d'en faire ici un résumé rapide.

La force électro-magnétique décroissant avec les distances auxquelles elle exerce son action, à peu près comme les carrés de ces distances, on a cherché d'abord à profiter de la rapidité de cette décroissance de force pour augmenter l'amplitude du jeu des pièces mises en mouvement; il suffisait, pour cela, de faire réagir les armatures des électro-aimants sur les pièces destinées à la transformation du mouvement, par l'intermédiaire de leviers plus ou moins longs. Comme l'affaiblissement de la force causé par l'allongement de ces leviers était beaucoup moindre que l'affaiblissement de l'attraction par suite de l'éloignement de l'armature, il en résultait que cet éloignement pouvait être rendu peu considérable, tout en fournissant un jeu mécanique assez étendu. Toutefois, plusieurs inconvénients, entre autres la perte de course par suite du jeu des leviers dans leurs articulations, la flexion de ces leviers et l'inégalité de l'action attractive qui atteignait son maximum alors même qu'elle devait cesser spontanément, firent renoncer bientôt à ce système d'amplification de la course des armatures. On chercha alors à faire réagir directement l'attraction sur la roue motrice, en armant celle-ci de palettes de fer doux et en échelonnant autour d'elles un certain nombre d'électro-aimants, de manière que le courant circulant successivement de l'un à l'autre et surprenant les armatures dans des positions très-rapprochées, l'attraction pût s'exercer à petite distance. On fit plus même, on rendit la roue motrice mobile à l'intérieur d'une circonférence garnie d'électro-aimants, et cette roue, en sautant d'un électro-aimant à l'autre, réagissait elle-même sur une manivelle fixée à l'arbre moteur; mais ces systèmes avaient encore de nombreux inconvénients qui empêchèrent la réalisation du problème. Ces inconvénients étaient d'abord la trop grande rapidité des interruptions du courant, rapidité

qui empêchait les électro-aimants de réagir à leur maximum de force ; en second lieu, la création de courants d'induction très-énergiques qui, en réagissant en sens contraire du courant inducteur, affaiblissaient l'action de celui-ci ; enfin les effets du magnétisme rémanent, qui étaient un obstacle considérable à la marche du moteur.

Après ces différentes combinaisons des électro-aimants, on pensa à substituer à leur action les effets dynamiques des courants, particulièrement l'attraction des cylindres de fer à l'intérieur des hélices magnétisantes ; de cette manière, on évitait les effets du magnétisme rémanent et on obtenait une course attractive convenable ; mais le peu d'énergie de cette force fut encore un sujet de déception pour ceux qui appliquèrent les premiers ce système électro-magnétique. Il en fut de même de la force directrice des électro-aimants, par laquelle les armatures, se mouvant tangentiellement à leurs pôles, se trouvent attirées jusqu'à ce que leur ligne médiane coïncide avec la ligne axiale des électro-aimants. On put obtenir, il est vrai, par cette disposition, jusqu'à 14 centimètres de course attractive ; mais la force attractive se trouvant réduite, eu égard à l'attraction normale, dans le rapport de 33 à 6, ainsi que je l'ai constaté moi-même par des expériences précises, ce système ne put offrir d'avantages bien réels sur les autres. Ce fut alors que plusieurs physiciens et mécaniciens, entre autres M. Froment, songèrent à tirer parti de l'accroissement considérable de la force attractive, à mesure que l'armature s'approche de l'électro-aimant, soit pour augmenter la force attractive initiale en la rendant uniforme, soit pour faire fonctionner plusieurs mécanismes amplificateurs de la course de l'armature ; ces systèmes ont été appelés, comme nous l'avons vu tome I, *répartiteurs électriques*.

Dans le répartiteur de M. Robert Houdin, l'armature réagit sur les pièces destinées à être mises en mouvement par

l'intermédiaire de deux bascules courbes appuyées l'une sur l'autre, et disposées de manière que leur point de tangence, en se déplaçant par suite de l'abaissement de l'armature, l'action de celle-ci, par rapport à la résistance, pût s'effectuer sur un bras de levier de plus en plus court et décroissant dans le rapport des carrés des distances successivement parcourues par l'armature. Il en résulte que, au moment où l'armature se trouve la plus éloignée de l'électro-aimant, la force attractive (agissant à l'extrémité d'un long bras de levier) se trouve considérablement augmentée, tandis qu'au moment où l'armature touche le pôle de l'électro-aimant, cette force se trouve considérablement diminuée, par suite de sa réaction sur un bras de levier beaucoup plus court. Or, comme cette répartition de la force s'est effectuée dans le rapport des variations de la force attractive elle-même, on peut, pour une force donnée, exercer une action sur une armature à une distance beaucoup plus grande que dans les dispositions ordinaires.

Dans le répartiteur de M. Froment, l'armature réagit sur le système qu'elle doit mettre en mouvement par l'intermédiaire de deux leviers articulés, dont l'un est fixe et dont l'articulation porte la bielle qui doit faire fonctionner le système mobile. Au moment où l'armature est au point le plus éloigné de sa course, ces deux leviers sont légèrement infléchis; mais, à mesure que l'armature s'abaisse, ils se redressent, et, comme la résistance appliquée au point d'articulation des deux leviers est d'autant plus considérable que l'inflexion de ceux-ci est moins grande, la force électro-magnétique se trouve, par ce système, rendue uniforme. De plus, le mouvement du point d'articulation auquel est appliquée la résistance étant représenté par l'arc décrit par les leviers dans leur mouvement de redressement, tandis que le mouvement de l'armature qui a donné naissance à ce mouvement est représenté par la flèche de cet arc, la course des

pièces mobiles se trouve accrue dans le rapport des arcs à leur flèche.

Un autre système de répartiteur électrique, combiné de manière à s'adapter aux électro-aimants tubulaires, a été également proposé dans le même but que les deux précédents, par MM. Fabre et Kunemann; mais les résultats qu'il a fournis ont été moins satisfaisants au point de vue qui nous occupe en ce moment.

A côté des systèmes que je viens de passer en revue, je ne dois pas oublier de signaler celui que M. Roux a employé dans l'électro-moteur qu'il a exposé, et qui a fourni, jusqu'à présent, les meilleurs résultats. Ce système, qui est un diminutif du répartiteur de M. Froment, consiste simplement dans une articulation parallélogrammique de l'armature, qui, à cet effet, se trouve supportée par deux leviers parallèles doublement articulés. Il résulte de cette disposition que cette armature, cédant à l'attraction exercée sur elle, se meut parallèlement à elle-même en fournissant une composante perpendiculaire à la force attractive. Or, si l'on adapte à l'armature, suivant cette composante, la bielle destinée à produire l'effet mécanique demandé, la course accomplie par elle sera infiniment plus grande que la distance qui sépare l'électro-aimant de l'armature, puisque celle-ci ne représente que la flèche de l'arc décrit par l'armature, tandis que celle-là représentera l'arc lui-même; toutefois, comme la distribution magnétique varie dans l'armature par suite de son déplacement latéral, la force se trouve un peu amoindrie par cette disposition.

Le système employé par MM. Pellis et Henry, et imaginé, en 1849, par le Danois Hjorth, quoique bien différent, par sa disposition, du précédent, réalise exactement les mêmes effets. Qu'on imagine les pôles de l'électro-aimant commandant le mouvement terminés par deux cônes de fer doux enveloppés par deux espèces de cornets de fer à la manière

d'une bougie surmontée de son éteignoir, qu'on suppose ces deux cornets reliés ensemble par une traverse de fer doux à laquelle est adaptée la bielle motrice et disposée de manière à se mouvoir vers l'électro-aimant parallèlement à elle-même, et l'on aura une idée du système de MM. Pellis et Henry, système dans lequel l'armature de l'électro-aimant est représentée par les deux cornets de fer réunis magnétiquement. Ce système est représenté fig. 8 ci-dessous. Pour en

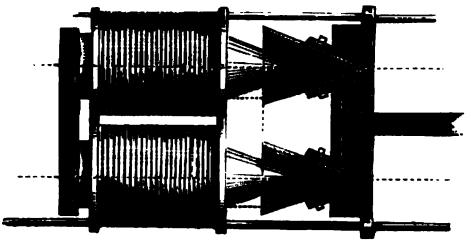


Fig. 8.

comprendre le jeu et les avantages au point de vue de l'augmentation de la course des pièces mobiles, il suffira de considérer que les cornets, ne pouvant se déplacer que parallèlement aux axes des branches de l'électro-aimant, parcourent dans cette direction un chemin beaucoup plus long que celui qu'ils suivent dans leur rapprochement de la surface conique des pôles de l'électro-aimant qui les attire. En effet, ce chemin représente l'hypoténuse d'un triangle rectangle, dont le plus petit côté est la distance qui sépare la surface interne des cornets de la surface conique des pôles, et dont le plus grand côté est fonction de la longueur des cônes. Il en résulte donc que, plus ces cônes sont allongés, plus la course fournie par les cornets est considérable ; toutefois, comme, par cet allongement, les pôles de l'électro-aimant perdent de leur énergie, et que les composantes dans lesquelles se décompose la force attractive s'amoindrissent à

mesure que l'angle du cône devient plus aigu, il est une limite après laquelle les avantages que l'on pourrait gagner sous le rapport de la course ne compenseraient pas la perte de force qui en serait la conséquence.

On pourrait objecter qu'avec cette disposition la force attractive est prise dans de mauvaises conditions, puisque les pôles ressortent considérablement des bobines magnétisantes et qu'ils agissent par attraction latérale, ce qui diminue la force attractive dans le rapport de 33 à 18[1]; mais, en revanche, l'induction polaire s'effectue efficacement sur une bien plus grande surface d'armature que dans les dispositions ordinaires, ce qui est une condition éminemment favorable pour l'attraction à distance. Cet avantage compense-t-il la perte de force que nous avons signalée? C'est ce que des expériences comparatives peuvent seules décider.

M. Froment, en s'inspirant de l'idée de M. Hjorth, a fait diverses tentatives pour modifier d'une manière avantageuse le système précédent; mais il n'en a pas obtenu tout le succès qu'il en espérait. Ainsi, au lieu d'employer des pôles coniques qui affaiblissent, comme nous l'avons dit, la force attractive par suite de leur allongement en dehors des hélices, M. Froment a rapproché les uns des autres les pôles de deux électro-aimants en les présentant les uns vis-à-vis des autres, de manière que leur surface pût déterminer les éléments d'un angle dièdre; l'armature en forme de coin, étant introduite entre ces pôles, se trouvait alors entraînée sous l'influence que nous avons analysée à l'instant, et sa course se trouvait, par cela même, étendue.

Système électro-magnétique de M. Parks renfermant lui-même son relais. — Au moyen des systèmes électro-magnétiques de MM. Cecchi, de Lafollye, Gloesener, Regnard, etc., on peut arriver, comme nous l'avons vu, à augmenter con-

1. Voir mon étude du magnétisme et de l'électro-magnétisme au point de vue de la construction des électro-aimants.

sidérablement la sensibilité des appareils électro-télégraphiques en supprimant la réaction contraire des ressorts antagonistes. Mais aucun de ces systèmes n'est arrivé à augmenter assez la réaction produite pour permettre la suppression des relais dans les circonstances où leur usage est réclamé. M. Parks a recherché si on ne pourrait pas atteindre ce but en combinant ensemble le courant de ligne et le courant local de la station qui reçoit, de manière que l'appareil électro-magnétique pût renfermer lui-même son relais. Il croit y être arrivé au moyen de l'appareil que nous représentons ci-dessous, et qui n'est, du reste, qu'une amplification du système que j'ai adopté pour maintenir dans mes appareils avertisseurs des chemins de fer l'action fugitive exercée par un courant momentané.

Dans ce système, E est un électro-aimant de puissance en

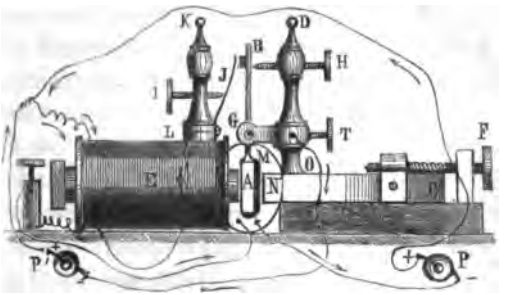


Fig. 9.

rapport avec la longueur du circuit de la ligne ; M est l'extrémité d'une bobine d'électro-aimant droit également en rapport avec le circuit de ligne, mais dont le canon est légèrement aplati, afin que la branche de fer doux A qui le traverse puisse osciller librement à son intérieur et servir d'armature à E. Cette branche A est soutenue à cet effet par une double tige AB basculant en G autour d'un axe horizontal,

et oscille elle-même entre les pôles de l'électro-aimant E et ceux d'un aimant persistant en fer à cheval CN, qui peut être rapproché plus ou moins de l'électro-aimant E au moyen d'une vis F. Enfin deux colonnes DO, KL, portant des vis butoirs H et I servent en même temps de conducteurs aux courants des deux piles P et P′ au moyen du ressort J d'une part et du support GT de l'autre.

La pile de ligne de la station P communique avec l'électro-aimant E de la station P′ d'une part, et de l'autre avec la bobine M du même appareil; mais le fil de l'électro-aimant E communique lui-même avec la bobine M, de sorte que le courant de P traverse les deux électro-aimants à la fois. La pile P′, dont le courant se trouve suffisamment réglé au moyen de bobines de résistance, se trouve reliée d'une part avec l'électro-aimant E, et de l'autre avec le support TG. Enfin l'électro-aimant E se trouve mis en rapport avec le ressort J, comme on le voit sur la figure. Voici maintenant ce qui arrive quand on fait fonctionner l'appareil :

Si on ferme le courant à la station P de manière que le pôle de l'armature A soit repoussé par le pôle N de l'aimant CN, le pôle A vient se placer devant le pôle S de E; la bascule AB s'incline, bute contre la vis H, et c'est la position initiale de l'appareil. En ce moment le ressort J ne touche pas B, mais s'en trouve tellement rapproché que le moindre mouvement de A peut opérer le contact. Aussitôt qu'on renverse le courant à la station P, l'effet produit sur A est diamétralement opposé à celui primitivement produit, et la bascule est repoussée; mais elle rencontre alors le ressort J, et le courant de P′ vient s'ajouter au courant de ligne pour réagir plus énergiquement sur A précisément au moment où l'éloignement de cette armature rend plus utile l'augmentation de la force de E. On peut se rendre compte de ce double effet en suivant la marche des deux courants par les flèches tracées sur la figure. Supposons maintenant qu'on renverse

de nouveau le courant à la station P, aucun des deux courants ne pourra plus exercer d'effet sur l'électro-aimant E; car s'ils pouvaient circuler au travers de celui-ci, ils le traverseraient en sens contraire. Toutefois, le courant de P animera toujours la bobine M, et sous son influence l'armature A sera repoussée par N et attirée par l'électro-aimant E, agissant alors comme fer doux. La bascule AB viendra donc de nouveau buter contre la vis H et reprendre sa position initiale, en attendant qu'une nouvelle inversion du courant de P la fasse osciller de nouveau. On voit donc que par cette disposition les piles des deux stations se trouvent concourir ensemble pour augmenter du double l'énergie de l'action produite, et cette augmentation d'action peut suffire dans plusieurs cas pour éviter l'usage du relais. Nous ferons cependant remarquer qu'avec cette disposition, la force utile de l'appareil résultant d'une répulsion magnétique, l'effet produit se trouve amoindri et inférieur à ce qu'il aurait pu être si la force utile fût résultée d'une attraction. Il est vrai qu'avec la répulsion l'augmentation de force se manifeste après la première action du système, et par conséquent au moment où celle-ci commence à s'affaiblir; mais, par une disposition particulière, on pourrait, ce me semble, réunir les deux avantages, surtout quand l'appareil doit produire des effets de détente. D'abord, pour que le travail utile de l'appareil précédent se fasse sur une attraction de courant, il suffit que la liaison de la pile P′ avec le système électro-magnétique soit faite avec la bobine M au lieu de l'être avec l'électro-aimant E et que la position des colonnes DO, KL, soit intervertie. Puis, pour que la première impulsion, faite sous l'influence du courant de ligne et, par conséquent, dans les conditions les plus défavorables, puisse s'effectuer sans réagir sur le déclanchage mécanique, ce qui exigerait une force plus grande, on n'aurait qu'à placer le levier de détente d'une manière indépendante du levier AB. Ce levier de dé-

tente, qui pourrait d'ailleurs osciller comme AB en G sur une petite broche, se terminerait par une fourchette, et recevrait son mouvement de l'armature A par l'intermédiaire d'une cheville emboîtée *avec un certain jeu* dans cette fourchette. Il arriverait alors que le premier mouvement de AB pourrait s'effectuer sans difficulté, n'ayant aucune résistance à vaincre. Mais, après avoir rencontré le ressort J, ce levier entraînerait le second levier réagissant sur la détente, ce qui lui serait facile, puisque les deux courants se trouveraient alors réunis.

Système électro-magnétique par répulsion de MM. Digney. — Bien que les réactions électro-magnétiques par répulsion n'aient pas une grande énergie, on les a employées cependant dans quelques occasions avec un certain succès. Dans ce cas, la disposition qui a le mieux réussi est celle que MM. Digney ont appliquée à leur télégraphe imprimeur, et que nous représentons ci-dessous.

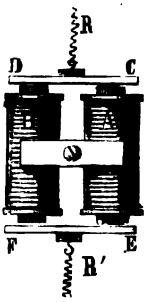


Fig. 10.

A et B sont deux électro-aimants droits accouplés, placés de manière à présenter d'un même côté des pôles de noms contraires. CD, EF, sont deux armatures aimantées oscillant parallèlement à la ligne des pôles, et disposées de manière à subir de la part des aimants deux réactions différentes,

suivant le sens du courant ; enfin deux ressorts antagonistes R, R′ et des butoirs d'arrêt, entre lesquels oscillent les leviers portant les armatures, permettent de régler la force électro-magnétique et de maintenir à un écart suffisant les armatures des pôles des électro-aimants.

Avec cette disposition, l'attraction des palettes aimantées sur le fer des électro-aimants constitue la force antagoniste. Or, comme cette force est à son maximum au moment où les palettes sont dans leur position initiale, c'est-à-dire près des pôles des électro-aimants, il est urgent de la diminuer, et c'est pour cela qu'ont été introduits les ressorts R et R′, qui agissent par conséquent dans le même sens que la force magnétique développée, laquelle est répulsive, comme nous l'avons dit. Maintenant, si l'on considère que quand l'une des armatures est repoussée, l'autre est attirée et concentre les actions magnétiques des deux électro-aimants comme s'il n'y en avait qu'un seul en fer à cheval dont elle constituerait la culasse, on comprendra facilement, d'après les réactions que nous avons étudiées dans notre étude du magnétisme, que la force répulsive totale devra être grandement accrue par cette disposition et se trouver dans les meilleures conditions pour les réactions mécaniques que l'on veut obtenir.

D'un autre côté, la disposition de deux électro-aimants juxtaposés présentant 4 pôles libres est éminemment favorable pour les doubles réactions de la télégraphie électrique. En effet, la résistance des hélices magnétisantes appelées à réagir sur les organes magnétiques étant une quantité donnée en rapport avec la longueur du circuit de la ligne télégraphique, il est infiniment préférable de la concentrer sur un même organe électro-magnétique agissant doublement, que de la répartir sur deux électro-aimants agissant isolément ; car quand l'un de ces électro-aimants, par suite de la direction du courant qui les anime, ne doit produire aucun effet mécanique, sa force se trouve perdue en pure perte

sans profiter à l'autre. Or, avec la disposition adoptée par MM. Digney, chacune des deux réactions magnétiques contraires est produite sous l'influence d'hélices ayant leur maximum de résistance et, par suite, leur maximum de force.

Système électro-magnétique de M. Varley, applicable aux relais. — M. Varley, qui a fait faire à la télégraphie sous-marine de si remarquables progrès, considère la disposition électro-magnétique que nous représentons ci-dessous comme

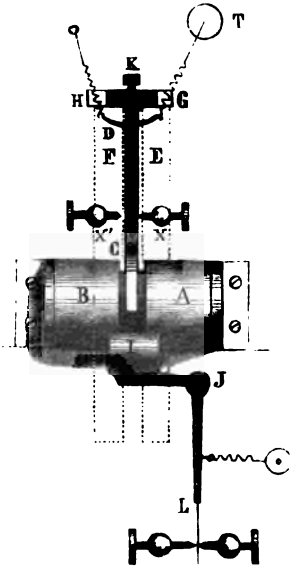


Fig. 11.

étant celle qui donne aux actions mécaniques produites le plus d'énergie et en même temps le plus de vitesse. Cette disposition consiste essentiellement dans un électro-aimant droit dont les deux pôles, épanouis de manière à constituer

les rondelles de la bobine magnétisante, se trouvent soudés à deux cylindres de fer A et B qui enveloppent l'électro-aimant presque dans son entier. C'est, si l'on veut, l'électro-aimant circulaire de M. Nicklès dont nous avons parlé dans notre premier volume. Par suite de cette disposition, les pôles de l'électro-aimant occupent les deux cylindres, de telle sorte que l'un, A, est pôle nord, et l'autre, B, est pôle sud. Dans l'intervalle séparant ces deux chemises de fer A et B se trouve introduite une pièce de fer taillée circulairement pour s'adapter à l'électro-aimant, et qui est soutenue par un levier de même métal terminé en potence et appuyé contre deux vis K au moyen de deux ressorts à boudin, dont l'un peut être plus ou moins tendu au moyen d'un treuil T. Les deux vis K, sont fixées sur une pièce de fer GH qui se trouve prolongée derrière le support de l'appareil, et contre laquelle appuient deux aimants permanents E, F, présentant le même pôle. Il résulte de cette disposition que, sous l'influence de ces deux aimants E et F, la traverse de fer GH se magnétise, et prend une polarité uniforme qui se trouve transmise à la pièce DC par les vis K. Suivant donc que les cylindres A et B sont polarisés d'une manière ou d'une autre par le courant circulant au travers de l'électro-aimant, la pièce DC se trouve inclinée à droite ou à gauche sous l'influence d'une double action magnétique, savoir : la répulsion exercée sur C par un des cylindres polaires A et B, et l'attraction de l'autre. Cette disposition, comme on le voit, se rapproche beaucoup, quant au principe, de celle du père Cecchi, dont nous avons parlé ; mais elle offre sur elle l'avantage de permettre l'insertion facile de plusieurs armatures aimantées par contact ou par elles-mêmes, et même d'armatures de fer doux non aimantées, comme on le voit en IJL. On peut donc, avec le même système électro-magnétique, obtenir plusieurs réactions complétement différentes qui peuvent être utilisées de diverses manières. Ainsi avec la disposition

représentée sur la figure 11 on pourra obtenir de la part de l'armature IJL une double oscillation pour chaque fermeture de courant, quelle que soit d'ailleurs la direction dans laquelle on l'envoie, tandis que l'armature CD ne fournira que des vibrations simples en rapport avec la direction du courant.

Quand M. Varley emploie ce système comme relais simple, il emploie comme conjoncteur une des vis X et X′ qui servent à limiter la course de la pièce CD, et le courant entre par le ressort H. Alors le système IJL devient inutile; mais le plus souvent M. Varley emploie des relais à double effet, et alors les pièces en rapport avec l'armature CD se trouvent répétées au-dessous de l'électro-aimant.

Nous aurions bien encore à signaler plusieurs systèmes électro-magnétiques particuliers imaginés par MM. de Lafollye, Siemens, Duncker, Queval, etc.; mais ces systèmes sont tellement reliés aux dispositions mécaniques qui leur correspondent, qu'il aurait été difficile de les isoler, et, pour éviter des répétitions, nous renvoyons aux chapitres III, IV, VI et VIII.

Système de trempe magnétique des aimants permanents de M. Varley. — M. Varley emploie, pour la trempe et la magnétisation de ses aimants, un procédé qui paraît être très-bon, bien qu'il soit un peu compliqué. Il commence d'abord par faire chauffer au rouge vif les pièces d'acier qui doivent être aimantées dans un creuset rempli en partie d'un mélange de noir animal et de ferrocyanate de potasse. Ces substances, suivant lui, empêchent les surfaces métalliques de s'altérer au feu. Quand cette opération est terminée, il plonge les pièces en question dans un appareil que nous allons décrire, et dans lequel elles subissent la trempe sous l'influence magnétique.

Cet appareil consiste dans une bobine d'électro-aimant dont le canon, d'ailleurs très-mince, est en fer et terminé par deux rondelles du même métal; une pièce de fer taillée

en forme d'entonnoir et percée d'un trou assez large est vissée sur la rondelle supérieure de la bobine, de manière à pénétrer à une certaine distance à l'intérieur du canon. Une autre pièce de fer également percée est vissée de la même manière du côté opposé de la bobine et communique avec un tuyau fermé par un robinet. Quand on se sert de cet appareil, on l'anime par le courant d'une forte pile, et on plonge à l'intérieur de la bobine magnétisante les pièces d'acier rougies, ainsi que nous l'avons vu précédemment. L'introduction de ces pièces se fait par l'entonnoir dont nous avons parlé; après quelques secondes, on verse par le même entonnoir de l'eau rendue très-froide par un mélange réfrigérent ou même des gaz liquéfiés par la compression, ou bien encore du mercure; on ouvre le robinet du tuyau inférieur, et on laisse couler le liquide jusqu'à l'entier refroidissement des pièces magnétisées. Par ce moyen, ces pièces subissent l'aimantation, non-seulement par l'action de l'hélice magnétisante, mais encore par l'action polaire des deux bouchons de fer introduits dans le canon de la bobine, et cette aimantation se continue pendant toute l'opération de la trempe.

Quand les pièces sont retirées de l'appareil précédent, on les met sur un étau pour les travailler; mais on a soin de disposer devant leurs pôles ceux d'un fort électro-aimant animé par un courant énergique. Avec ce système, M. Varley est arrivé à obtenir des aimants puissants qui conservent parfaitement bien leur magnétisme et dont les pôles sont placés d'une manière tout à fait régulière et symétrique.

Électro-aimants en fer purifié. — Nous avons déjà dit que plusieurs personnes s'occupaient toujours de la grande question de produire du fer complétement pur pour la construction des électro-aimants. Parmi ces personnes, nous citerons M. Cailletet, maître de forges à Châtillon-sur-Seine, qui paraît être arrivé déjà à de bons résultats. En attendant que cet

habile industriel ait fait connaître dans leurs détails ses procédés, nous croyons utile, pour la majeure partie de nos lecteurs, de leur faire connaître un moyen de purification que nous avons déjà signalé, il est vrai, mais qui, appliqué dans certaines conditions particulières que M. G. Perrin indique, semble fournir des résultats déjà très-satisfaisants. Voici la lettre que M. Perrin m'a écrite à l'occasion des expériences qu'il a entreprises dans ce but :

« Je prends la liberté de vous écrire pour vous faire part d'une expérience qui aura pour vous, je pense, un assez grand intérêt. Il s'agit, Monsieur, de la préparation du fer des électro-aimants, afin d'empêcher le magnétisme rémanent.

« Dans la conviction que le magnétisme rémanent est dû, pour la plus grande partie, à une très-petite quantité de carbone qui reste toujours dans le fer le plus pur, j'ai choisi du fer de la meilleure qualité, c'est-à-dire fabriqué entièrement au charbon de bois, et tel qu'on le fait dans quelques forges de la Franche-Comté. J'ai pris de la chaux bien nouvelle sortant du four ; j'ai versé de l'eau dessus, par petites quantités, jusqu'à sa réduction en poussière *sèche*. J'en ai rempli une boîte en fer dans laquelle j'ai disposé les pièces d'un électro-aimant, absolument comme on range, dans une semblable boîte remplie de matières carbonées, des pièces en fer que l'on veut aciérer et tremper. J'ai enduit la caisse de terre grasse, non pour la luter, car je crois que l'appareil ne doit pas être luté, mais pour préserver la tôle du feu. Aucun lut ne résisterait, d'ailleurs, à la vapeur formée par l'eau existant dans la chaux. J'ai exposé cette boîte à une chaleur rouge pendant deux heures environ. L'électro-aimant avait des branches de 15 millimètres. Je l'ai laissé refroidir lentement, sans le sortir du feu, mais en laissant éteindre celui-ci. J'ai renouvelé trois fois cette opération, en

changeant la chaux chaque fois, ce qui, par parenthèse, me paraît inutile, car, à la température rouge, la chaux ne doit pas s'emparer de l'acide carbonique. Quoi qu'il en soit, il paraît certain que la chaux provoque ou facilite le dégagement du carbone combiné au fer, car j'ai obtenu, par ce moyen, un électro-aimant qui perd son magnétisme avec une rapidité que je n'avais pas encore vue.

« J'ignore complétement combien de temps il faut laisser les pièces dans le four pour obtenir le maximum d'effet, et s'il est nécessaire ou non de les y mettre plusieurs fois. Il est probable que cela doit varier avec leur volume. Peut-être serait-il mieux, avant d'opérer, de priver d'eau la chaux délitée, en la portant à la chaleur rouge ; peut-être aussi la présence de l'eau serait-elle nécessaire. Je ne puis rien affirmer sur tout cela, pas plus que je ne puis dire si du fer de médiocre ou mauvaise qualité pourrait être purifié par ce moyen. Toutes ces questions nécessiteraient une suite d'expériences que je suis bien loin de pouvoir faire en ce moment. Je vous cite seulement un fait, pensant que vous serez bien aise d'en avoir connaissance. Vous en ferez ce que vous voudrez, en lui donnant ou non de la publicité. »

INTERMÉDIAIRES ÉLECTRO-MÉCANIQUES.

Rhéotomes. — Les rhéotomes, comme on a pu le voir dans notre exposé, jouent un rôle important dans les applications électriques. Bien que nous en ayons décrit un grand nombre dans le chapitre réservé à ces organes dans notre premier volume, nous sommes loin d'avoir décrit tous ceux qui figurent dans les applications que nous avons exposées, et à plus forte raison tous ceux qui ont été imaginés. Si nous revenons ici sur cette question, c'est que parmi tous les rhéotomes que nous avons décrits, il en est peu qui soient fondés sur le

principe de ceux dont nous allons parler, et qui sont appelés à rendre de véritables services.

Les rhéotomes sont, comme nous l'avons déjà dit, un organe accessoire des appareils électro-mécaniques qui a pour objet de fermer ou de rompre automatiquement le courant en temps opportun pour produire des effets déterminés. Ces rhéotomes, comme les relais, ont été classés, ainsi que nous l'avons vu, en trois catégories : les rhéotomes conjoncteurs, les rhéotomes disjoncteurs et les rhéotomes à la fois conjoncteurs et disjoncteurs. Les premiers ont pour effet de maintenir le courant après que la cause initiale qui l'a fermé a cessé d'agir ; les seconds produisent l'effet contraire ; enfin les troisièmes rompent le courant dans un circuit pour le rétablir ensuite ou pour le porter dans un autre circuit. Les rhéotomes dont nous allons maintenant parler peuvent être appelés rhéotomes régulateurs, car ils doivent opérer des ruptures et fermetures de courant qui peuvent être égales, mais qui sont variables dans leur durée, sous une influence autre que celle de l'électricité. Ces rhéotomes ont été imaginés par M. Regnard.

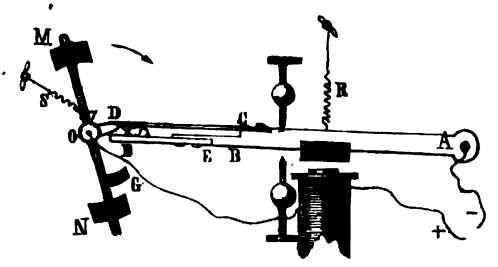


Fig. 12.

Les plus simples de ces rhéotomes que nous représentons ci-dessus, fig. 12, n'est autre que celui de De La Rive (Voir p. 298, 1er vol. de l'Exposé), auquel est adapté un balancier

à contre-poids mobiles qui règle à volonté la durée des oscillations de l'armature. Avec ce rhéotome, l'armature AB de l'électro-aimant ou la pièce sur laquelle doit réagir le rhéotome est terminée par une espèce de fourche constituée, d'une part, par un ressort CD, et d'autre part par une pièce d'ivoire EF. Le balancier MN, composé d'une bascule taraudée oscillant en O, porte une languette X qui s'engage entre l'extrémité du ressort CD et la pièce d'ivoire EF, en s'appuyant à l'état normal sur CD par l'effet du ressort antagoniste S. Un butoir G est placé par mesure de sûreté en face du balancier MN, pour empêcher celui-ci de dépasser cette position lors de son oscillation en retour.

Les fils conducteurs de la pile arrivent : l'un à l'axe de l'armature, l'autre à l'électro-aimant et de là à l'axe du balancier. Le courant est naturellement fermé par le contact du ressort CD avec la palette X; alors l'armature est attirée, le ressort CD presse la languette X et fait osciller le balancier tout en le suivant dans son mouvement. De sorte que le contact, et par suite le courant, sont maintenus jusqu'à ce que le balancier arrivant à la fin de sa course, la palette X quitte le ressort CD et frappe contre la pièce d'ivoire EF. Le courant étant en ce moment rompu, l'armature attirée par le ressort R revient dans sa première position; la pièce d'ivoire presse sur la languette X et ramène le balancier par l'excès de force que le ressort R a sur le ressort S. A la fin de l'oscillation en retour, la languette X frappe contre le ressort CD, le courant est fermé de nouveau, le balancier est repoussé, et ainsi de suite indéfiniment.

On règle à volonté la durée des oscillations du balancier MN, en combinant la masse et l'écartement de ses contre-poids avec la tension des ressorts CD, R et S.

M. Regnard a utilisé ce système de rhéotome dans plusieurs applications, notamment pour régler les moteurs électriques de ses enregistreurs ou pour gouverner sans rouages une

sonnerie des heures. Nous verrons plus tard comment ce rhéotome est combiné à ces différentes applications.

Dans le système de rhéotome que je viens de décrire, l'armature met autant de temps à osciller dans un sens que dans l'autre. La durée de la fermeture du courant électrique est donc égale à la durée de sa rupture. Cependant, dans certains cas, il peut être utile que le temps de la fermeture, par exemple, soit très-court et que l'armature revienne ensuite lentement en prolongeant plus ou moins le temps de la rupture. Ainsi dans divers systèmes de télégraphes-imprimeurs, le levier qui met en action le mécanisme imprimeur doit être relevé pendant la succession rapide des mouvements qui placent le télégraphe à la lettre voulue, et il ne doit revenir en place pour produire son effet qu'après que cette succession est accomplie. On a employé, pour résoudre ce problème, plusieurs dispositions mécaniques ou physiques dont nous avons parlé pages 136, 137, etc., de notre 2e volume, mais ce problème peut être résolu en modifiant d'une certaine manière le rhéotome précédent comme le représente la figure ci-dessous.

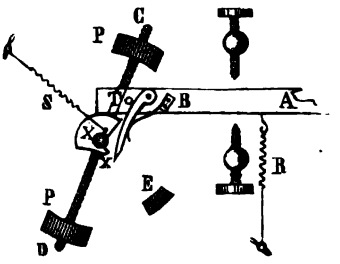


Fig. 13.

Dans cette nouvelle disposition, le levier ou l'armature qui doit faire fonctionner le rhéotome n'est plus disposé en fourchette comme précédemment; il porte simplement un

cliquet T qui accroche, quand il est relevé, une dent x plantée sur l'axe du balancier. Si la cause qui a relevé ce cliquet cesse et se reproduit par une succession rapide de mouvements, il vibre simplement entre le butoir d'arrêt et la dent du balancier, sans avoir le temps d'affecter celui-ci ; mais lorsque cette cause cesse pendant un temps suffisant, il appuie sur la dent du balancier qu'il fait osciller et il retombe en place pour produire son effet quand, le balancier ayant accompli son oscillation, le cliquet échappe la dent plantée sur son axe. Si l'on veut que le retour du levier soit encore plus lent, il suffira de l'arrêter dans sa chute par un secteur X qu'on dispose sur l'axe du balancier de manière qu'il s'engage dans ses mouvements sous une petite palette placée à l'extrémité du levier. Le secteur n'échappe cette palette qu'au moment où le balancier achève son oscillation rétrograde. Le retour du levier comprend ainsi deux mouvements : le premier a lieu quand le cliquet pousse et échappe la dent plantée sur l'axe du balancier, et le second quand la palette échappe le secteur.

Ce système de rhéotome à balancier a été encore appliqué avec une disposition accessoire par M. Regnard, à l'entretien de la marche du pendule dans l'expérience de M. Foucault. La figure ci-contre, page 148, représente cette nouvelle disposition avec l'électro-aimant droit destiné à réagir sur le pendule P, ainsi que nous l'avons vu p. 296, 1er volume. EF est une armature de fer doux destinée à réagir sur le rhéotome. aa' est un noyau qui fait partie du fer de l'électro-aimant, mais qui est mobile à l'intérieur de celui-ci, et peut réagir sur un levier articulé en u par l'intermédiaire d'une tige V, à laquelle il est uni. L'armature EF se termine par un cliquet C et un butoir d'arrêt. A portée de ce cliquet C, se trouve placé le balancier AB, qui ne diffère de celui du rhéotome dont nous avons parlé précédemment que par l'addition d'un bec y qui s'appuie à l'état normal sur l'extrémité d'un tourniquet T

maintenu dans une position fixe par un ressort antagoniste S et un levier de détente O qui s'appuie contre une bascule *mn*.

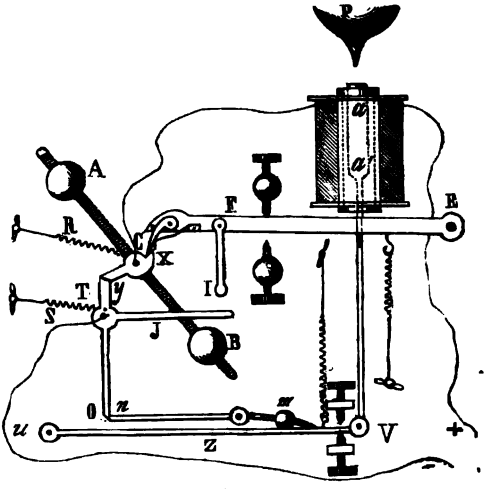


Fig. 14.

Ce tourniquet porte, en plus, une tige J dont nous verrons à l'instant l'usage.

Les fils conducteurs aboutissent, l'un à l'axe du balancier AB, après avoir traversé l'électro-aimant, et l'autre à l'axe du tourniquet T, de telle sorte que le courant se ferme par le contact du bec *y* avec le bras T.

Dans la position indiquée sur la figure, le courant est fermé ; il est maintenu par la traction que le ressort R exerce sur le balancier et le levier de détente O. Dès que le pendule P, en passant au-dessus de l'électro-aimant, soulève le cylindre *a a'*, la tige V est soulevée, et par suite la bascule *mn*, par l'intermédiaire de la tige Z; le tourniquet échappe et s'incline sous l'action du ressort S. Le courant est rompu, l'armature EF retombe, le cliquet C pousse la dent X, fait

osciller le balancier et finit par échapper. Le butoir I rencontre alors le bras J du tourniquet et le met en prise avec le levier *mn*. Le balancier AB, après avoir achevé son oscillation, revient sur lui-même par l'action du ressort R jusqu'à ce que le bras *y* bute contre le tourniquet T, et le courant se ferme alors après un temps marqué par la double oscillation du balancier. Enfin l'armature EF remonte dans sa position première, et le cliquet C se replace sur la dent X prêt à agir de nouveau.

Échappements avec cliquets à double impulsion. — Il est souvent nécessaire dans les applications électriques, principalement pour augmenter la vitesse de rotation des mobiles sans augmenter l'écart des pièces qui subissent l'attraction, d'avoir des échappements avec cliquets produisant une double impulsion, l'une sous l'influence de la force attractive, l'autre sous l'influence de la force antagoniste. Nous avons même décrit, pages 241 et 242, 2e volume de l'*Exposé*, les moyens employés dans ce but par MM. Nollet et Breguet; mais ces moyens ne peuvent être appliqués dans la majeure partie des cas, à cause de l'encombrement qui en résulterait pour les mécanismes. Persuadé de l'importance de cette question, M. Regnard a combiné plusieurs dispositions que nous allons passer successivement en revue.

Première disposition.—La figure 16, page 150, représente la plus simple de ces dispositions. Ce sont deux cliquets : l'un d'impulsion C, l'autre à crochet D, qui sont articulés sur le levier même qui porte l'armature A, et qui se trouvent placés aux deux extrémités opposées d'un même diamètre de la roue d'échappement R. Lorsque l'armature est attirée, le cliquet C fait tourner le rochet de l'intervalle d'une demi-dent, mais comme le crochet D avance de son côté du même intervalle, il dépasse une dent tout entière et accroche la dent suivante. Au moment où l'armature revient dans sa position première, le crochet D fait avancer à son tour le crochet d'un demi-in-

tervalle de dent, et le cliquet C reprend la dent suivante. Ce double effet se reproduit indéfiniment.

Fig. 16.

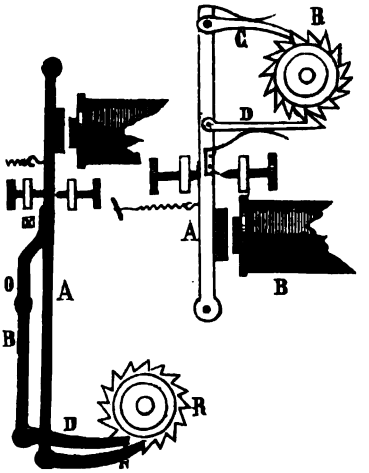


Fig. 15.

Deuxième disposition.—A côté de la tige A, fig. 15 ci-dessus, qui porte l'armature de l'électro-aimant, se trouve une seconde tige B qui oscille sur un axe transversal O, et prend les mouvements de la tige principale au moyen d'une petite fourchette dans laquelle glisse la cheville X plantée dans la tige A. Les deux tiges oscillent ainsi ensemble et en sens contraires, et comme chacune porte un cliquet d'impulsion, il arrive que lorsque le cliquet C fait avancer la roue d'une demi-dent, le cliquet D recule de la même quantité et se trouve placé derrière la dent suivante. Or, quand celui-ci avance, à son tour le cliquet C recule et reprend de même la dent suivante, et ainsi de suite.

Troisième disposition.—L'effet précédent est reproduit sur les deux cliquets C et D au moyen d'un losange articulé dans

la disposition représentée figure 17. En effet, quand le levier A auquel est fixée l'armature s'abaisse, le losange s'allonge, le cliquet C avance et le cliquet D recule. Au contraire, quand

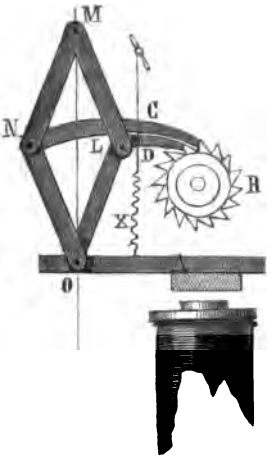


Fig. 17.

le levier A se relève, l'inverse a lieu ; le cliquet C recule et le cliquet D avance. Un avantage de cette dernière disposition, c'est qu'elle constitue un répartiteur (de Froment) et permet d'obtenir une grande course des cliquets pour un très-petit écart de l'armature, comme nous l'avons vu page 232, 1er volume de l'*Exposé*.

Ces systèmes d'échappements à doubles cliquets présentent sur les échappements à ancres ou à chevilles l'avantage que la force ne se décompose pas et agit tangentiellement à la roue d'échappement, ce qui permet d'obtenir des effets beaucoup plus énergiques avec une force électrique moindre. Pour les compteurs d'horloges et même pour plusieurs systèmes de télégraphes, ils seraient donc d'un emploi très-avantageux.

Encliquetage Dobo, modifié par M. Paul Garnier. — Nous

croyons être utile à nos lecteurs en leur faisant connaître plusieurs systèmes d'encliquetages peu connus qui, bien que destinés à l'horlogerie, peuvent être employés avec beaucoup d'avantages dans les applications électriques.

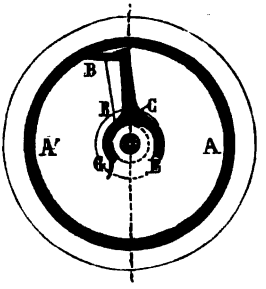


Fig. 18.

L'un de ces systèmes que nous avons représenté fig. 18, a pour but d'obtenir l'embrayage d'un mobile dans un sens déterminé, sans nécessiter la présence d'une roue à rochet, ni même d'une roue dentée. Il consiste dans un rebord cylindrique AA′ soudé sur l'une des joues du mobile, et contre lequel appuie un crochet B articulé en C, excentriquement par rapport à l'axe du mobile, et terminé par une fourchette EG. L'extrémité de ce crochet forme une espèce de bec B maintenu légèrement vers la droite par un ressort R, de manière à frotter à contact aigu contre la surface intérieure du rebord cylindrique AA′. Avec cette disposition, on comprend facilement que si le crochet est placé à l'état normal dans une position un peu inclinée par rapport au diamètre du mobile, le mouvement de celui-ci ne pourra s'effectuer que d'un seul côté. En effet, le frottement exercé par le rebord AA′ sur le crochet BC a pour effet de tendre à faire tourner ce dernier autour de son axe C. Or, ce mouvement s'effectuant de droite à gauche tend à empêcher le contact du bec B avec le rebord AA′; il laisse donc le mobile tourner facilement

dans le sens AA′. Mais si ce mobile tourne en sens contraire, le crochet devient trop long et forme un obstacle invincible à la rotation du mobile.

Encliquetage à croix de Malte. — Ce système d'encliquetage remplace d'une manière extrêmement avantageuse les encliquetages à étoiles dont j'ai parlé page 338, 1er volume de mon *Exposé*. Non-seulement il permet de supprimer le cliquet ou l'étoile de retient, mais il a encore pour résultat de rendre le jeu de l'encliquetage plus précis, et l'on n'a pas à craindre de ballottage de la part des pièces mobiles une fois

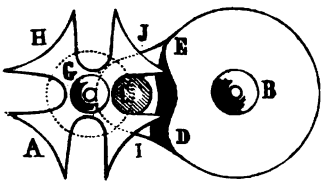


Fig. 19.

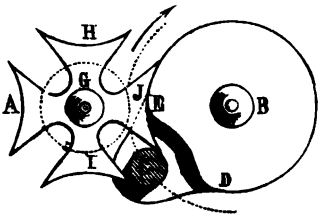


Fig. 20.

l'échappement produit. Les figures 19 et 20 représentent ce système d'encliquetage dans deux positions, avant l'échappement, et au moment de l'échappement. AHIJ sont les quatre branches d'une croix de Malte terminées par des courbes concaves. B est un disque échancré en ED qui porte la cheville C destinée à produire l'échappement, et qui est placé sur l'axe du mobile commandant l'encliquetage; les courbes concaves des branches de la croix sont taillées sur la courbure de ce disque, de telle sorte que quand le disque et la croix se trouvent en contact ensemble comme dans la fig. 20, les deux courbes puissent s'emboîter exactement l'une sur l'autre. Dans cette position, la croix est maintenue forcément fixe, et c'est alors la courbure du disque B qui sert de cliquet de retient; mais quand la cheville C soulève la branche de la croix, elle échappe ainsi qu'on le voit dans la figure 19, car

les angles aigus des branches de la croix s'introduisent dans l'échancrure ED. Quand cet échappement est totalement accompli, ce qui nécessite un quart de révolution de la part du disque B, l'appareil n'est plus maintenu que par la circonférence de ce disque.

Il est facile de comprendre que ce système d'échappement n'est pas seulement applicable aux croix de Malte, il peut l'être à toutes les roues d'un nombre quelconque de dents, pourvu que celles-ci aient la forme des branches IJ, etc.

Échappement à roue mobile et à encliquetage fixe. — Il arrive quelquefois, dans les applications électriques qu'on a à produire, un échappement dans des circonstances telles qu'on ne peut employer une ancre mobile. Nous avons vu page 263, 2e volume de notre *Exposé*, un exemple de ce genre. On est alors obligé d'employer un système d'échappement à encliquètage fixe qui se compose : 1° d'une roue d'échappement mobile sur son axe ; 2° de deux butoirs d'arrêt placés des deux côtés de cette roue ; 3° d'un système de frotteur ou piston à ressort qui, étant poussé en avant, entraîne la roue et la ramène sous l'influence de son ressort de rappel. Avec cette disposition, on comprend que si la roue porte sur chacune de ses joues des chevilles, le mouvement qu'elle accomplira de gauche à droite, par exemple, sous l'influence du piston, lui fera échapper le butoir qui la maintenait du côté gauche ; mais à peine dégagée, cette roue se trouvera de nouveau arrêtée par le butoir du côté droit, et si les butoirs sont convenablement placés, l'échappement pourra se faire de cheville en cheville et aussi régulièrément que si on avait employé une ancre mobile.

Embrayeur à frottement magnétique et à mouvement de va-et-vient de M. Achard. — Nous avons déjà étudié, dans notre premier volume de l'*Exposé*, les ingénieux systèmes d'embrayeurs ou électro-transmetteurs de mouvements imaginés par M. Achard et qu'il a si ingénieusement appliqués soit aux

chemins de fer, soit aux métiers à filer la soie, soit dans une foule d'autres applications dont nous parlerons. Mais quelque ingénieux qu'ils pussent être, ils présentaient un inconvénient bien secondaire, à la vérité, mais suffisant pour dégoûter bon nombre de personnes hésitantes. Ce défaut était le bruit perpétuel produit par les allées et venues de la pièce mobile de l'embrayeur et les chocs qui en résultaient. Voulant faire disparaître cet inconvénient, M. Achard s'est imaginé de recourir à la résistance au frottement exercée au contact des pièces magnétisées, et il est parvenu à un système extrêmement simple et sûr, qui peut rendre d'immenses services dans une foule de cas différents.

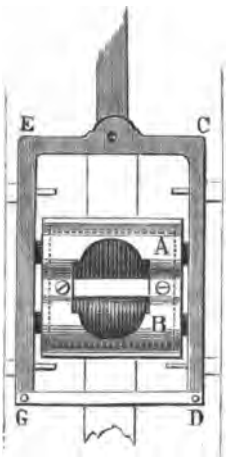


Fig. 21.

Ce système, représenté ci-dessus, se compose essentiellement de deux ou plusieurs électro-aimants droits A, B, réunis ensemble sur un même plan passant par leurs différents axes et fixés soit d'une manière rigide, soit sur la pièce appelée à réagir mécaniquement d'après l'influence électrique. Ces élec-

tro-aimants sont disposés de manière à présenter d'un même côté des pôles de même nom, et devant ces pôles *glissent au contact* deux tiges de fer CD, EG reliées ensemble par une traverse commune également en fer EC et par une seconde traverse de cuivre DG. Le moteur qui doit mettre en action l'appareil est relié d'une manière quelconque à l'une de ces deux traverses, mais toujours de façon à faire exécuter au parallélogramme CDGE un mouvement de va-et-vient, comme nous l'avons vu pour les autres systèmes d'embrayeurs.

D'après cet exposé, il est facile de comprendre le jeu de l'appareil. Tant que l'action de l'embrayeur ne doit pas se manifester, le parallélogramme CDGE accomplit son mouvement de va-et-vient sans rencontrer aucune résistance; mais aussitôt que cette action doit commencer, le courant passe à travers les électro-aimants, et immédiatement ceux-ci se collent contre les traverses CD, GE; alors l'effet mécanique produit par le mouvement de ces traverses se trouve arrêté si les électro-aimants sont fixes et si le mouvement de recul des traverses résulte de l'action d'un ressort antagoniste, ou bien les électro-aimants eux-mêmes sont mis en mouvement avec leur support dans le cas contraire, et réalisent l'effet mécanique demandé.

L'un des plus grands avantages de ce genre d'embrayeurs est de pouvoir obtenir une action mécanique variable d'amplitude à volonté. On conçoit, en effet, que la prise des électro-aimants avec les armatures CD, EG pouvant se faire sur toute l'étendue du trajet accompli par elles, il suffit de fermer le courant au tiers, au quart, à la moitié de ce trajet pour obtenir un effet mécanique d'une amplitude égale à ce tiers, à ce quart ou à cette moitié.

Embrayeur à frottement magnétique et à mouvement circulaire. — Comme il l'avait fait pour ses autres embrayeurs, M. Achard a voulu appliquer le principe de son nouvel appareil aux mouvements circulaires, et cela lui était d'autant

plus facile qu'il pouvait emprunter cette nouvelle disposition à celle des poulies folles, comme on le comprend aisément par l'inspection de la figure 22 ci-dessous. En effet, pour obtenir l'action mécanique qu'il cherchait, il lui suffisait de placer entre deux disques de fer EF, GH mobiles sur l'axe de rotation XY

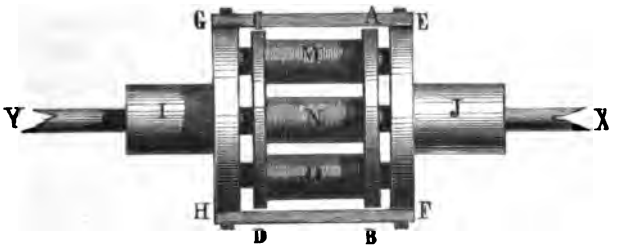


Fig. 22.

un système électro-magnétique ABCD fixé sur cet axe lui-même, de relier les deux disques EF, GH par des traverses de fer EG, FH, et de faire réagir ce double disque par l'intermédiaire des cylindres I et J sur les mécanismes appelés à recevoir l'effet de l'embrayeur.

Pour fixer le système électro-magnétique ABCD, M. Achard adapte sur l'axe moteur XY deux disques de cuivre AB, CD, à travers lesquels passent les trois ou quatre électro-aimants droits M, N, O, qui composent ce système. Ces électro-aimants ont leurs rondelles assez épaisses pour pouvoir être solidement goupillées sur les disques, et sont disposées de manière à présenter d'un même côté des pôles semblables en contact avec les disques de fer EF, GH, qui leur servent d'armatures. Comme l'action polaire de ces électro-aimants se trouve renforcée de part et d'autre par l'adjonction de masses de fer représentées par les disques GH, EF, elle se trouve dans d'excellentes conditions pour produire de la force et réaliser d'une manière avantageuse les effets mécaniques qu'on demande à ces sortes d'appareils.

APPAREILS D'EXPÉRIMENTATION.

Perfectionnements apportés à l'électromètre et à l'électroscope par M. Volpicelli. — M. Volpicelli, qui s'occupe depuis longtemps, comme on le sait, de très-consciencieuses recherches sur l'électricité statique, a été conduit par la nature même de ses études à perfectionner l'électromètre, et, grâce à certaines combinaisons que nous allons exposer, il est parvenu à en faire un instrument très-sensible et très-précis.

Les moyens employés par M. Volpicelli sont :

1° L'emploi de paillettes très-minces, rendues parfaitement rectilignes en les soutenant par un fil de cuivre fin bien tendu ; et afin que, dans les faibles charges, la divergence des paillettes devienne encore plus sensible, il réduit à 1 millimètre la longueur du mince fil de cuivre qui doit les suspendre. Toutes ces parties métalliques sont d'ailleurs dorées, afin que les oxydations n'empêchent pas la divergence ;

2° L'établissement du plan de la divergence des paillettes dans une direction parfaitement parallèle à l'échelle de l'instrument ;

3° La suppression complète de la cloche de verre dans laquelle on a l'habitude d'enfermer les paillettes ; cette suppression a pour effet de diminuer la dispersion de l'électricité, de prévenir les effets de l'induction nuisibles aux observations électrométriques, et d'empêcher la déformation apparente des paillettes ;

4° La suspension de l'électromètre au moyen d'un anneau de verre verni susceptible de monter ou de descendre, et du centre duquel pendent les paillettes ;

5° L'addition à l'appareil d'un condensateur dont les deux disques sont réduits à l'épaisseur d'un seul millimètre. Le disque supérieur ou collecteur est surmonté d'un demi-cercle

de verre verni, afin que la source de l'électricité puisse se placer dans le centre même du disque, tandis que l'inférieur ou base communique toujours avec le sol. L'élévation ou l'abaissement du disque supérieur s'opère d'ailleurs au moyen d'un engrenage qui empêche toute pression et tout frottement sur le vernis des disques;

6° Un éloignement assez considérable établi entre les paillettes et le support de l'instrument, afin que, quand les paillettes servent d'électromètre, leur divergence dépende uniquement de la répulsion électrique;

7° La mesure de l'angle de divergence des paillettes au moyen de deux niveaux pouvant s'éloigner ou se rapprocher parallèlement entre eux à la volonté de l'observateur. C'est alors une échelle divisée en millimètres et tracée sur une ligne droite qui mesure la distance entre les mêmes niveaux et deux verniers convenablement placés qui donnent avec la plus grande exactitude soit le sinus de la moitié, soit la corde de l'angle des paillettes;

8° L'addition entre les paillettes d'un fil d'acier qui peut se placer ou s'ôter à volonté. Ce fil augmente du double la divergence des paillettes si la source d'électricité est *indéfectible;* et si cette source est *défectible,* l'écart, quoique moins considérable, se trouve toujours augmenté. Cette addition peut aussi bien convenir à l'électromètre à feuilles qu'à l'électromètre à pailles;

9° L'addition de deux petits cylindres horizontaux non isolés, susceptibles d'avoir leurs extrémités plus ou moins rapprochées des paillettes quand les expériences sont électroscopiques.

Électroscope de M. Gaugain. — M. Gaugain a cherché aussi à rendre l'électroscope de Volta plus sensible, et il y est arrivé en employant successivement deux condensateurs, l'un de grande dimension, qui est indépendant, l'autre plus petit, qui est fixé à l'instrument. Après avoir électrisé le premier

de ces condensateurs avec la source électrique que l'on veut étudier, on sépare les deux plateaux qui le composent, et l'on se sert de l'un d'eux pour électriser le condensateur de l'instrument. La charge électrique se trouve alors presque doublée, puisqu'elle a été déjà surexcitée par la première condensation.

Réélectromètre de M. Marianini. — Cet instrument, qui est d'une sensibilité extrême, consiste dans une aiguille aimantée suspendue à un fil de cocon, comme l'aiguille du galvanomètre, et sur laquelle réagit un électro-aimant dont le fer est bien purifié. C'est donc en quelque sorte un galvanomètre dont le multiplicateur est remplacé par un électro-aimant. Il paraît que cet appareil est précieux pour l'analyse des courants induits.

Galvanomètre de M. Fabre.—Nous avons déjà vu, pag. 437, 1er volume, de l'*Exposé*, que MM. Fabre et Kunemann avaient cherché à combiner un nouveau système de galvanomètre propre à fournir des indications comparatives appréciables pour les courants variables de grande et de moyenne intensité. Ce système a été depuis perfectionné d'une manière importante par M. Fabre, et, tel qu'il est aujourd'hui, il semble appelé à rendre de véritables services à l'industrie.

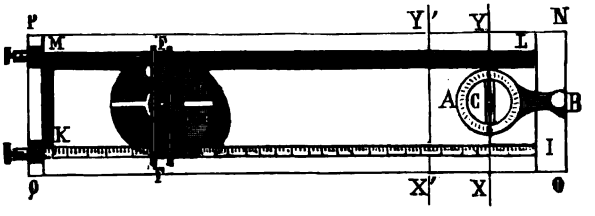


Fig. 23.

Nous représentons ci-dessus le dessin de cet appareil. Sur une planche QNOP se trouvent fixées deux coulisses de cuivre LM, IK, aboutissant à deux boutons d'attache que

l'on met en rapport avec le courant qu'il s'agit de mesurer. L'une de ces coulisses porte latéralement une règle métrique divisée en millimètres à partir de la ligne XY, et dans ces coulisses elles-mêmes se meut une traverse portant un système galvanométrique monté sur un disque DDHH. Ce disque est composé de deux parties métalliques DD, HH, isolées l'une de l'autre, mais communiquant par frottement avec les deux coulisses LM, IK et les deux extrémités du fil du multiplicateur FF; toutefois, elles peuvent être réunies au moyen d'un bouton commutateur G, et alors le courant, au lieu de passer par le fil du multiplicateur, se trouve transmis directement de LM en IK. Quant au multiplicateur, il consiste dans un cadre galvanométrique FF sur lequel se trouvent enroulés deux ou trois fils de diamètre moyen et de faible longueur que l'on peut réunir bout à bout ou en faisceau à l'aide d'un commutateur T. Tout ce système, d'ailleurs, peut pivoter sur le centre du disque et se présenter droit ou incliné par rapport aux coulisses LM et IK.

Enfin un support d'aiguille aimantée s'élève en AB sur une colonne B, et se trouve disposé de manière que le multiplicateur étant poussé jusqu'en XY, l'aiguille C se trouve à l'intérieur du cadre EF, comme dans un galvanomètre ordinaire. Cette aiguille, du reste, se meut autour d'un cadran divisé A, qui joue le rôle des cadrans ordinaires des galvanomètres, bien que sa position, eu égard au multiplicateur, soit différente. Un petit aimant artificiel, placé d'une manière fixe au-dessous du support AB, assure à l'aiguille une position constante suivant la ligne XY.

Voici maintenant comment on se sert de cet appareil :

On fait passer le plus faible des courants que l'on a à mesurer, et qui sera pris, je suppose, pour unité de comparaison, à travers le multiplicateur, et cela en le mettant en rapport avec les boutons d'attache M et K ; on dispose le fil du multiplicateur de manière qu'à une faible distance de la

ligne XY, par exemple en X'Y', l'aiguille aimantée C dévie d'une quantité appréciable, par exemple de 10 ou 20 degrés. On note la distance XX' fournie par la règle graduée, et on fait passer à travers le multiplicateur le courant le plus fort. L'aiguille dévie alors beaucoup plus ; mais, en éloignant le multiplicateur suffisamment de XY, il arrive un moment où la déviation de cette aiguille se trouve la même que primitivement. On note alors de nouveau la distance du multiplicateur, et le rapport des deux distances observées donne celui des forces des courants.

On comprend aisément que plus le courant est faible, plus le multiplicateur doit être rapproché de la ligne XY, et c'est quand son axe coïncide avec cette ligne qu'il atteint, pour un groupement de fils donné, son maximum de sensibilité. Au contraire, il atteint son maximum d'insensibilité quand les deux demi-disques DD, HH, sont réunis, et qu'il est placé à l'extrémité QP de la planche.

La rotation du multiplicateur au centre du disque DH a démontré que, quelle que soit l'inclinaison du multiplicateur par rapport à l'aiguille aimantée, l'effet est toujours le même ; et cela se conçoit facilement, pour peu que l'on examine que si l'une des moitiés de ce multiplicateur se trouve plus rapprochée de l'aiguille, l'autre moitié se trouve plus éloignée ; par conséquent, il y a compensation.

Balance rhéométrique de M. Regnard. — Comme MM. Fabre et Kunemann, M. Regnard a voulu ramener à une méthode de mesure facile l'appréciation de la force des courants électriques employés dans les arts et l'industrie, et si son système n'offre pas un degré de précision mathématique, ce qui n'est nullement nécessaire pour l'usage auquel il est affecté, il se recommande par son extrême simplicité et la facilité qu'il donne de pouvoir l'appliquer à des régulateurs de courants et de lumière électrique dont nous parlerons en temps et lieu.

Un cadre multiplicateur est disposé verticalement sur un support fixe; il est entouré de plusieurs fils de longueur et de diamètres différents, afin de réunir dans le même appareil les dispositions qui conviennent pour les courants d'intensité et de résistance diverses. Un barreau aimanté est disposé dans ce cadre verticalement le pôle austral en bas, il traverse en croix un petit fléau de balance soutenu suivant le mode ordinaire. Un des bras du fléau supporte un bassin disposé pour recevoir les poids. L'autre bras porte un contre-poids mobile qu'on éloigne plus ou moins du point de suspension pour établir l'équilibre; il se termine par une aiguille qui marque les variations de la position du fléau sur un arc de cercle divisé et deux vis d'arrêt sont placées l'une au-dessus, l'autre au-dessous de ce contre-poids pour arrêter les mouvements du fléau à une très-petite distance de la position horizontale.

On fait passer le courant dans un des fils, suivant le sens voulu pour que l'action magnétique, en agissant sur le barreau aimanté, tende à soulever le bassin sur lequel on place les poids nécessaires pour rétablir l'équilibre; la somme de ces poids marque l'intensité du courant.

On peut remplacer le barreau aimanté par un barreau de fer doux. On évite de cette manière les variations qui se produisent dans les galvanomètres ordinaires, par suite de la diminution du magnétisme des aiguilles ou des barreaux aimantés.

Rhéostat de M. Regnard. — Ce rhéostat, comme l'appareil précédent, se fait remarquer par son extrême simplicité, ce qui met ce genre d'instruments à la portée de toutes les bourses. On peut l'employer soit pour modérer l'intensité des courants, soit pour mesurer cette intensité par la résistance que ces courants peuvent vaincre pour être ramenés à un effet déterminé.

Une bobine en bois, placée verticalement sur un support,

est entourée d'un fil fin de cuivre ou mieux de laiton garni de soie. Ce fil est coupé par sections de 1^m, 2^m, 2^m, 5^m, 10^m, 20^m, 50^m, 100^m, 100^m, 200^m et 500^m. Sa longueur totale est ainsi de mille mètres. Autour du socle de la bobine, sont disposées, les unes à la suite des autres, treize pièces de cuivre qu'on peut faire communiquer, la première avec la seconde, la seconde avec la troisième, etc., au moyen de vis de pression ou de petits leviers. La première section du fil qui a un mètre de longueur aboutit par une extrémité à la première pièce, et par l'autre à la seconde ; la deuxième section, qui a deux mètres, aboutit par une extrémité à la deuxième pièce, et par l'autre à la troisième, et ainsi des autres. Le courant sur lequel on veut agir entre dans l'appareil par la première pièce et sort par la dernière.

Dans cette disposition, si on met toutes les pièces de cuivre en communication directe par les vis de pression, le courant suit cette voie sans que la résistance soit sensiblement augmentée. Il suffit de rompre le contact de la première pièce avec la seconde pour forcer le courant à parcourir un mètre de fil fin. On lui fait parcourir deux mètres en rompant le contact de la seconde pièce avec la troisième et ainsi de suite. On peut ainsi, par une manœuvre prompte et facile, faire passer le courant par 1^m, 2^m, 2^m, 5^m, 10^m, 10^m, 20^m, etc., de fil fin et combiner à volonté ces nombres pour former telle somme totale que l'on veut, comme on le fait avec la série des poids de 1^g, 2^g, 2^g, 5^g, 10^g, etc., qui est aujourd'hui en usage.

Rhéostat de M. l'abbé Caselli. — Il arrive souvent dans beaucoup d'applications électriques où le rhéostat est employé, que les courants induits qui naissent au sein des bobines de résistance et qui se déchargent après la cessation du courant voltaïque sont très-nuisibles à la réaction que l'on cherche à obtenir, il devient alors essentiel d'avoir des appareils de résistance sans bobines présentant assez de dé-

veloppement pour permettre l'estimation de fractions assez minimes de l'unité de résistance qu'on a adoptée. M. Caselli a résolu de la manière la plus simple et la plus ingénieuse ce problème, en intercalant dans un tissu façonné tout exprès le fil de résistance composant chaque bobine.

Supposons en effet que sur un métier à tisser on dispose des fils de chaîne en coton sur une largeur en rapport avec celle de la boîte qui doit renfermer ces différents tissus de résistance et imaginons que les fils de trame soient un fil métallique et un fil de coton : on comprendra facilement que ces deux fils se replieront en zigzags sur eux-mêmes en alternant, de telle sorte que deux portions contiguës du fil métallique se trouveront toujours séparées par un fil de coton, et les fils de chaîne maintiendront en la complétant cette disposition. On obtient donc ainsi un tissu semi-métallique dans lequel le fil métallique est isolé dans toute sa longueur et dont les replis ne peuvent être nuisibles, puisque les courants induits qui pourraient naître sur les replis pairs se trouvent détruits par ceux qui se développent sur les plis impairs. Pour compléter cet isolement, on peut même tremper ce tissu dans une dissolution de gomme laque et de bitume fondus, et alors il devient possible de replier le tissu sur lui-même et d'obtenir ainsi, sous un très-petit volume, des résistances considérables.

Inutile de dire que chaque bande de tissu représentant une résistance déterminée, il faut autant de ces bandes qu'il y a de bobines dans le rhéostat ; mais pour obtenir des fractions de résistance, il suffit, dans la bande la plus petite, de souder un fil à chaque retour du fil sur lui-même (d'un côté seulement). Ces différents fils aboutissant à de petites plaques métalliques disposées autour d'un commutateur circulaire placé à la partie supérieure de la boîte, délimitent sur la bande des longueurs de résistance déterminées qui varient suivant le numéro d'ordre des plaques du commutateur.

D'autres plaques, placées à la suite des précédentes et munies d'un signe propre à les faire distinguer, communiquent avec les différentes bandes, de telle sorte qu'avec un commutateur seul on peut obtenir toutes les évaluations de résistances possibles avec un degré d'approximation suffisant pour la plupart des applications électriques.

M. Caselli indique encore un autre moyen pour obtenir, sans le secours du tisseur, le réseau métallique dont nous avons parlé. Ce moyen consiste à piquer sur une planche deux rangées parallèles de petits clous et de replier autour de ces clous le fil recouvert de soie qui doit fournir la résistance ; quand toute la longueur du fil se trouve ainsi développée, on prend une feuille de papier fort que l'on recouvre de bitume fondu avec de la résine, et on l'applique sur le réseau des fils. On arrache ensuite les clous et on applique une seconde feuille bituminée sur la seconde surface de ce réseau, puis quand tout est séché, on achève l'isolement en plongeant la bande entière dans du bitume fondu.

III

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

TÉLÉGRAPHES ÉCRIVANTS.

L'adoption définitive du télégraphe Morse par le gouvernement français a excité depuis deux ans, chez les inventeurs et les constructeurs, une ardeur particulière qui s'est traduite par la mise au jour d'un grand nombre de perfectionnements importants.

On a déjà pu voir, dans le second volume de notre *Exposé*, les dispositions remarquables qu'ont données à cet appareil MM. Mouilleron, Briquet, Siemens, Hipp. Tremeschini, etc.:

mais ces perfectionnements ne se rapportaient principalement qu'à la partie mécanique de l'appareil. Or, plusieurs autres perfectionnements étaient réclamés par la pratique, et, parmi eux, l'un des plus importants était de rendre les traces laissées par l'appareil plus facilement lisibles.

Depuis le télégraphe de M. Steinheil jusqu'au télégraphe électro-chimique de M. Bain, bien des essais ont été tentés pour obtenir sur une bande de papier des marques stables et visibles composant des signaux. Tantôt on employait à cet effet des becs à encre à ouverture capillaire, tantôt des tire-lignes toujours imprégnés d'encre par un moyen ou par un autre, tantôt des styles ou petits tampons plongeant dans l'encre à leur état normal et venant présenter au papier un point fraîchement imprégné d'encre au moment de leur réaction; tantôt des crayons dont la pointe, au moyen d'un petit mécanisme, se reformait au fur et à mesure de leur usure; tantôt des becs de pierre ponce imprégnés d'acide sulfurique et réagissant sur du papier teint au tournesol; tantôt, enfin, un style d'acier exerçant un effet électro-chimique sur du papier préparé au cyanure de potassium. Mais tous ces systèmes ont tour à tour été abandonnés après des essais réitérés, et on en était toujours revenu au système à pointage de Morse, qui exige, comme on le sait, un relais pour fonctionner, et le plus souvent des translateurs.

Quels étaient les obstacles qui s'opposaient au fonctionnement des appareils établis d'après ces différents systèmes?... Les voici : quand on employait les becs à encre, les tire-lignes, etc., l'encre destinée à les alimenter venant à se sécher ou à s'épaissir précisément vers leur extrémité traçante, ne pouvait plus couler et fournir les traces nécessaires à l'impression de la dépêche. Les tampons plongeant dans l'encre éclaboussaient de liquide la bande de papier, et les becs de pierre ponce imprégnés d'acide formaient des traces qui, en s'étalant, finissaient par se confondre. Enfin le papier électro-

chimique, quoique préparé avec de l'azotate d'ammoniaque, n'était jamais assez hygrométrique pour être dans un état d'humidité convenable, surtout par les temps chauds. Pour obtenir un système pratique, il fallait donc s'affranchir de tous ces inconvénients, et c'est ce à quoi sont parvenus deux constructeurs de mérite, M. Thomas John, mécanicien hongrois, et MM. Beaudoin et Digney, constructeurs français.

Télégraphe de M. Thomas John. — Dans le télégraphe de M. Thomas John, l'organe traçant est une molette métallique M (fig. 1, pl. I) mobile à l'extrémité d'un long levier coudé M*lh*, sur lequel réagit, par l'intermédiaire d'une bielle B et d'une tige articulée AC, l'armature D de l'électro-aimant E. Cette molette plonge par sa partie inférieure dans un réservoir fixe R rempli d'encre de Chine délayée; et comme elle est reliée par un système de poulies de renvoi PP′ avec un galet Q qui reçoit son mouvement du glissement de la bande de papier, elle tourne dans l'encre tout le temps que l'appareil fonctionne et présente toujours devant le point S, où doit se faire l'impression, une partie de sa circonférence fraîchement imprégnée d'encre.

Afin que les traces noires laissées par cette molette sur la bande de papier puissent être assez courtes et assez nettes pour former les points qui entrent dans les combinaisons de l'alphabet Morse, la bande de papier, guidée par une gouttière S qui avance presque au contact de la roue traçante, se replie brusquement sur elle-même et se trouve maintenue dans cette situation par trois galets I, H, Q, dont l'un Q sert à faire tourner la molette traçante, ainsi que nous l'avons dit précédemment. Cette disposition présente un avantage : c'est celui de tenir tendue sur une longueur OL d'environ 20 centimètres la bande de papier aussitôt après son impression, ce qui facilite beaucoup la lecture des dépêches.

Si l'on réfléchit maintenant que l'appareil, pour fonctionner, n'a d'autre effet à produire que d'approcher la roue à

encre de la bande de papier, rapprochement qui ne nécessite pas une distance d'attraction plus grande qu'un demi-millimètre, on comprendra facilement pourquoi un pareil système n'a pas besoin de relais ni de mécanismes d'horlogerie autres que celui qui fait avancer la bande de papier. J'ai pu, en effet, constater que, malgré les mauvaises conditions de résistance de l'électro-aimant de l'appareil qui m'a été présenté, malgré un temps humide et de la pluie, une dépêche a pu être transmise directement avec 25 éléments de Daniell seulement à la pile, de Rouen à la gare Saint-Lazare.

Je n'insisterai pas sur les détails d'exécution de cet appareil, qui peuvent, du reste, être considérablement modifiés et simplifiés. Je dirai seulement, pour compléter ma description, que toutes les pièces mobiles de l'appareil sont munies de vis de rappel pour en régler l'écart et le jeu, pour assurer un frottement suffisant au galet qui met en mouvement les poulies de la roue à encre, enfin pour tendre à un degré convenable la corde qui réunit ces poulies.

Les perfectionnements apportés au télégraphe Morse par M. Thomas John ne concernant que l'impression des dépêches, tous les transmetteurs, clefs, etc., déjà en usage, peuvent être employés au service de l'appareil que nous venons de décrire.

Depuis la présentation de cet appareil à la Société d'encouragement, présentation qui a été l'objet d'un rapport favorable que j'ai été chargé de faire, M. Thomas John a donné à son instrument une autre disposition qu'il regarde comme supérieure à celle que je viens de décrire ; mais comme cette nouvelle disposition se rapproche considérablement de celle qui a été adoptée par MM. Beaudoin et Digney, et que sa supériorité n'a pas été bien constatée, je n'en parlerai pas davantage.

Télégraphe de MM. Beaudoin et Digney. — Le but que s'était proposé M. Thomas John, dans le perfectionnement im-

portant qu'il avait apporté à l'appareil Morse, était de placer l'organe traçant des télégraphes ordinaires dans les meilleures conditions possibles. Pour obtenir ce résultat, il avait été, comme nous l'avons vu, conduit à adapter aux pièces mobiles de ces sortes d'appareils un système mécanique sans doute très-ingénieux, mais un peu compliqué, qui était la conséquence forcée de la nécessité dans laquelle il se trouvait de faire tourner une roue soumise à un mouvement de va-et-vient. D'un autre côté, une roue mobile dans l'encre n'était pas complétement exempte des inconvénients qui avaient fait échouer tous les essais tentés jusque-là. Malgré les résultats avantageux qu'avait fournis cet appareil, on pouvait donc désirer encore quelques nouveaux perfectionnements qui le rendissent plus simple dans sa construction, moins délicat dans sa manœuvre et plus sûr dans ses effets. Or, ces conditions se sont trouvées parfaitement réalisées dans l'appareil de MM. Beaudoin et Digney, qui a suivi de quelques mois seulement celui de M. Thomas John.

MM. Beaudoin et Digney, ayant considéré les difficultés que présentait la rotation d'une roue à encrer mobile à l'extrémité d'un levier oscillant, telle qu'elle était du reste spécifiée dans le brevet de Morse, crurent qu'il était plus simple de renverser les données du problème acceptées jusque-là, et d'affranchir cette roue de tout mouvement oscillatoire en la faisant tourner sur un axe fixe et en faisant en sorte que ce fût la bande de papier qui s'approchât d'elle. Cette idée une fois acceptée, sa réalisation devenait extrêmement simple, puisque le problème se trouvait ramené à celui des télégraphes imprimeurs. Il suffisait donc 1° de placer la roue traçante de manière qu'elle reçût directement son mouvement du mécanisme d'horlogerie appelé à faire marcher la bande de papier; 2° de faire frotter contre cette roue un rouleau imprégné d'encre grasse; 3° de terminer le levier mis en mouvement par l'électro-aimant par un couteau placé

exactement au-dessous de la roue à encrer; 4° de faire passer au-dessus de ce couteau la bande de papier destinée à recevoir la dépêche. Avec un pareil système, en effet, chaque mouvement provoqué par l'électro-aimant avait pour effet d'approcher le papier de la roue à encrer, et comme le corps dur qui appuyait ainsi le papier contre cette roue était taillé en couteau, c'est-à-dire présentait un angle aigu, un point seulement pouvait être imprimé pour un mouvement rapide accompli par l'armature de l'électro-aimant, tandis qu'un long trait était la conséquence d'une attraction prolongée de cette même armature. Le problème se trouvait donc complétement résolu, et cela de la manière la plus simple, puisque les pièces mécaniques nécessitées pour cette opération n'étaient pas en plus grand nombre et plus compliquées que dans les télégraphes Morse perfectionnés. Aussi l'administration des télégraphes a-t-elle immédiatement adopté cette disposition, et c'est ainsi que sont établis les télégraphes aujourd'hui en usage en France.

La figure 2, pl. I, représente le télégraphe de MM. Beaudoin et Digney. R est la roue traçante mise en mouvement par le mécanisme d'horlogerie renfermé dans la boîte ABCD.

T est le tampon à encre grasse. Il est, comme on voit, supporté par un petit châssis mobile autour d'un axe, ce qui lui permet d'appuyer de tout son poids sur la roue traçante. L'encre grasse qui est employée est celle dont on se sert pour timbrer, et comme elle se sèche lentement, il suffit d'imprégner d'encre le tampon, tous les huit jours, pour mettre l'appareil en état de fonctionner régulièrement.

SS sont les deux cylindres (formant laminoir) destinés à entraîner la bande de papier. Celui du dessus, comme dans l'appareil de M. Mouilleron, peut être soulevé au moyen d'une bascule V pour qu'on puisse facilement introduire la bande de papier; sa pression sur l'autre cylindre est réglée au moyen de la vis W et du ressort Y.

U est un cylindre guide pour que la bande de papier puisse défiler carrément au-dessous de la roue R.

G est le couteau destiné à rapprocher la bande de papier de la roue B. Il termine une lame de ressort qui est supportée par le levier Z et qui peut être plus ou moins écartée de R au moyen de la vis Q. Le levier ZH bascule d'ailleurs en I et supporte, du côté H, l'armature L de l'électro-aimant E.

M est une colonne métallique adaptée au-dessous du levier GH pour servir de translateur.

P est une autre pièce destinée à régler l'écart de l'armature.

Enfin, N est le relais, F le levier débrayeur et O un commutateur destiné à intercaler, à volonté, dans le circuit de ligne l'appareil télégraphique ou son relais qui sont disposés l'un et l'autre pour marcher sous l'influence du courant de ligne.

Comme il est souvent important, dans la pratique, d'avoir deux vitesses différentes de déroulement de la bande de papier, selon que les employés ont beaucoup ou peu d'habitude de transmettre les dépêches, MM. Beaudoin et Digney ont adapté au mécanisme d'horlogerie de leur appareil deux régulateurs à ailettes qui peuvent agir ensemble ou isolément. Ces régulateurs, d'ailleurs, comme ceux de M. Mouilleron (quoique par un autre mécanisme), se replient plus ou moins pour uniformiser le plus possible le mouvement.

Télégraphe à tire-ligne de M. Mouilleron. — Bien que les télégraphes dont nous venons de parler aient résolu définitivement le problème de l'impression des signaux télégraphiques, il peut se faire cependant que dans certaines applications l'emploi de la molette tournante soit irréalisable, et qu'on soit obligé d'avoir recours aux anciens moyens. Nous croyons donc utile d'entrer dans quelques détails sur le télégraphe à tire-ligne de M. Mouilleron, qui est le plus perfectionné des appareils de ce genre qu'on ait construits jusqu'ici.

La figure 7, pl. I, représente ce système télégraphique; il présente à peu près la même disposition mécanique que les télégraphes Morse de M. Mouilleron; seulement, à la place du style qui dans ces derniers est fixé sur le prolongement du levier AB, se trouve adapté le mécanisme écrivant CDE qui se compose : 1° d'un tire-ligne CD ayant une forme particulière que l'expérience a indiquée; 2° d'une fourchette EF composée d'une lame de ressort et d'une tige rigide, et qui est fixée sur le levier AB; 3° d'un contre-poids P dont la position est voisine du point d'équilibre instable; 4° d'un encrier-pompe M dans le réservoir N duquel plonge le tire-ligne.

Le jeu de cet appareil s'effectue de la manière suivante : à l'état normal, le tire-ligne CD plonge entièrement dans l'encre du réservoir N, et cette encre, au moyen du bouton X de l'encrier M, peut toujours être maintenue à un niveau constant; mais aussitôt que l'électro-aimant réagit sur le levier AB, la fourchette EF appuie sur la queue du tire-ligne; le contre-poids incliné favorise cette action, et la pointe du tire-ligne imprégnée d'encre rencontre la bande de papier qui se déroule devant le cylindre V du laminoir qui l'entraîne. Comme la pression exercée sur le tire-ligne résulte de l'effort d'un ressort, on n'a pas à craindre de déchirures de la bande de papier, et l'impression se trouve faite d'une manière parfaitement nette.

Nous avons déjà eu occasion de dire que les employés des lignes télégraphiques contractent, au bout de quelque temps, une telle habitude du jeu des télégraphes Morse, qu'ils peuvent lire une dépêche rien qu'à l'audition des mouvements du relais. M. Mouilleron a voulu régulariser ce système de lecture en adaptant à ses appareils un timbre sur lequel réagit l'électro-aimant du porte-style par l'intermédiaire d'un levier et d'une petite fourchette sur laquelle se trouve adapté le marteau du timbre. Ce système est depuis longtemps appliqué aux télégraphes employés en Suisse, mais la France n'a

pas encore adopté d'une manière générale cette disposition.

Télégraphe de MM. de Pradines et Tondeur. — Pour obtenir les traces à l'encre de la part des télégraphes Morse, MM. de Pradines et Tondeur ont imaginé d'enrouler sur le rouleau moteur de la bande de papier dans les appareils ordinaires un ruban de papier ou de toile fine passant sur un second rouleau et formant chaîne sans fin, à la manière des courroies d'engrenage. Ce ruban est recouvert d'une encre d'imprimerie épaisse jusqu'à la consistance du savon qui peut facilement être renouvelée. En raison de sa consistance, cette encre, bien que pressée contre la bande de papier qui doit recevoir la dépêche au moment où celle-ci passe entre les deux rouleaux de l'appareil, ne laisse pas d'empreinte sur le papier; mais lorsque le style du télégraphe opère le gaufrage de ce papier, l'encre s'attache aux traces produites absolument comme dans les tracés pantographiques à pointe sèche.

Télégraphe contrôleur de M. Tremeschini. — Nous avons déjà indiqué, dans notre 2e volume de l'*Exposé,* le but de ce télégraphe et les avantages qu'il pouvait rendre surtout dans le service des chemins de fer pour obtenir le contrôle écrit des dépêches échangées à l'aide des télégraphes à cadran. Cet appareil a subi depuis deux ans de notables perfectionnements qui en font un appareil très-ingénieux et précieux à plus d'un titre. Nous le représentons fig. 3, pl. I.

Cet appareil est, comme on le voit, une combinaison du télégraphe à cadran et du télégraphe écrivant de Morse, mais il est disposé de manière à pouvoir être employé sous une forme moins complexe, soit comme télégraphe écrivant, soit comme télégraphe à cadran. En conséquence il se compose de trois genres de mécanismes : 1° d'un mécanisme à échappement pour faire tourner l'aiguille indicatrice des signaux autour d'un cadran; 2° d'un mécanisme pointeur avec ses accessoires pour l'entraînement de la bande de papier qui

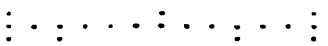
doit être imprimée ; 3° d'un mécanisme transmutateur pour transformer un télégraphe dans l'autre. Tous ces mécanismes doivent être, bien entendu, commandés par un même électro-aimant, par le même mécanisme d'horlogerie, et reliés de telle façon les uns avec les autres qu'une de leurs fonctions leur soit commune.

Le premier mécanisme est placé à l'intérieur de la boîte ABCD du mouvement d'horlogerie qui, dans les télégraphes Morse ordinaires, entraîne la bande de papier. Nous le représentons séparément fig. 5, pl. I. Il se compose d'une roue d'échappement à chevilles R commandée par un levier d'encliquetage AB et sollicitée à tourner par un système d'engrenages composé de trois roues, dont l'une S est placée sur l'axe du deuxième mobile du mécanisme d'horlogerie. Comme la marche de cette roue dépend de l'échappement et qu'elle ne doit pas faire obstacle par son arrêt au mouvement d'horlogerie qui fait défiler le papier, on a dû en faire une roue folle en la faisant tourner librement sur son axe et en ne la faisant participer au mouvement de celui-ci que par une pression exercée sur elle par un fort ressort boudin, pression ayant pour effet de l'appuyer contre une assiette fixée sur l'axe lui-même.

D'après cette disposition on comprend aisément que si on fait réagir sur la bascule AB le levier de l'électro-aimant terminé par un coude ADC, on pourra faire fonctionner la roue R comme dans les télégraphes ordinaires, et par conséquent obtenir le mouvement saccadé d'une aiguille indicatrice sans pour cela empêcher le mécanisme moteur de défiler.

Le mécanisme destiné au pointage des dépêches est représenté fig. 4, pl. I. On le voit en partie au centre du cadran dans la fig. 3. Il est fixé sur l'axe même de la roue d'échappement, et se compose d'un petit cylindre *ab* sur lequel se trouvent fixées transversalement trois petites roues à dents pointues *d*, *c*, *e*, dont il ne ressort que les dents au-dessus de

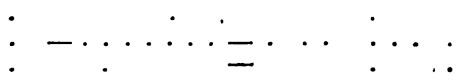
la surface du cylindre. L'une de ces roues *c* a treize dents, les deux autres *d* et *e* n'en ont que trois et quatre. Mais ces dents doivent se correspondre d'une manière particulière, de manière que pour un tour complet du cylindre, elles puissent fournir, sur une bande de papier qui passerait devant ce cylindre, les traces suivantes :



Pour faciliter ce pointage, un petit cylindre *gh*, placé devant *ab*, se trouve évidé en gouttière en face des trois roues, et ce cylindre est porté par un levier mobile que l'on voit en X dans la fig. 3. C'est entre ce cylindre et le cylindre *ab* que passe la bande de papier dont la pression contre les roues traçantes peut être réglée au moyen d'une glissière CD, fig. 3 que l'on manœuvre au moyen de la manivelle M, et qui a pour effet de repousser plus ou moins le ressort *r* qui termine le levier X. Quant au mouvement de la bande de papier, il s'obtient comme dans tous les autres appareils écrivants, au moyen des deux cylindres E et F formant laminoir; seulement, en raison du mode de pointage, la bande de papier est obligée d'être repliée à angle aigu devant la roue traçante, et de passer par conséquent par une poulie G qui la dirige sur la roue où elle se trouve en provision.

Les autres parties de l'appareil n'ont rien de particulier et se comprennent aisément. Ainsi H est l'électro-aimant, I son armature, J le translateur, K le ressort antagoniste, L la pédale pour ramener l'aiguille au repère (cette pédale réagit d'ailleurs sur l'échappement absolument comme dans les télégraphes à cadran); enfin O, la manivelle pour déclancher ou arrêter le mouvement d'horlogerie. Voici maintenant quel est le jeu de cet appareil; mais pour qu'on puisse bien le saisir, nous ferons remarquer tout d'abord que les engrenages de l'échappement sont disposés de telle manière que,

pour chaque fermeture de courant opérée à travers l'électro-aimant H, une dent de la roue *c* (fig. 4) de l'appareil pointeur doit passer et fournir son point sur la bande de papier. D'un autre côté, comme l'échappement fournit deux mouvements saccadés pour une seule fermeture de courant, l'aiguille indicatrice peut, pour chaque point tracé, indiquer deux signaux différents, de telle sorte que pour un tour complet du cylindre pointeur, elle aura passé devant les vingt-six signaux de l'alphabet. Supposons maintenant que l'appareil soit mis en mouvement continu par un manipulateur de télégraphe à cadran ordinaire, l'aiguille indicatrice tournera autour du cadran, et le pointage s'opérera sur la bande de papier de manière à reproduire la disposition de points que nous avons représentée précédemment. Mais au moment où l'on arrêtera l'aiguille devant la lettre signalée, le point marqué par le pointeur s'allongera et pourra se distinguer facilement des autres, et il en sera de même des intervalles des points. Pour plusieurs lettres signalées, les impressions formées sur la bande de papier pourront donc avoir l'aspect suivant :



Or, si l'on considère que tous les points longs ou courts représentent des lettres de l'alphabet ainsi que les espaces blancs qui les séparent, et, d'un autre côté, que les points situés en dehors de la ligne de la dépêche peuvent servir de points de repère faciles à distinguer de six en six lettres, on comprendra aisément qu'il devient possible de savoir quelles lettres ont été transmises, surtout en admettant comme point de départ de l'alphabet le repère fourni par les trois points placés sur la même verticale. Ainsi, dans la dépêche figurée précédemment, les lettres transmises sont

A, B, R, U, Z, E. On peut donc, par ce moyen, conserver l'expression imprimée d'une dépêche fournie par le télégraphe à cadran, et par conséquent obtenir un contrôle automatique des dépêches envoyées.

Maintenant si, à l'aide de la manivelle M, on repousse assez la glissière CD pour que le levier X du cylindre conducteur du papier n'appuie plus contre le cylindre pointeur, il arrivera qu'aucune trace ne sera laissée sur la bande de papier, et le télégraphe marchera comme un télégraphe à cadran ordinaire. Mais si, au lieu d'employer le manipulateur des télégraphes à cadran, on fait marcher l'appareil avec une clef de Morse sans se préoccuper des signaux indiqués par l'aiguille, on obtient sur la bande une dépêche imprimée dans le système alphabétique de Morse et qui sera en tous points semblable à celle qu'on aurait obtenue avec un appareil spécial. En effet, nous avons vu que, pour chaque fermeture de courant, une dent du cylindre pointeur échappait après avoir laissé sa trace; mais cet échappement ne peut avoir lieu qu'à la suite d'une interruption du courant. Or, tout le temps que le courant reste fermé, le pointage continue; et comme la bande se déroule toujours, la dent qui marque laisse une trace plus ou moins longue en rapport avec les durées de fermeture du circuit, comme cela a lieu dans les télégraphes Morse ordinaires.

Un système du même genre que le précédent, mais beaucoup moins complet et beaucoup moins perfectionné, a été combiné dernièrement par MM. Bain et Glover, dans le but de conserver pendant quelques instants les indications si fugitives fournies par les télégraphes à cadran. A cet effet, le mécanisme d'horlogerie dont ces appareils sont munis est disposé de manière à mettre en mouvement une courroie de caoutchouc enroulée sur deux poulies et se développant horizontalement d'un bout à l'autre de l'instrument. Un traceur mû par l'électro-aimant commandant le mécanisme du télé-

graphe vient à chaque mouvement déposer sur la courroie une goutte d'un liquide coloré pris dans un réservoir voisin, et par la plus grande longueur de la trace ainsi laissée on reconnaît la lettre qui a été transmise. Dans ce système, les points de repère deviennent inutiles, car les quatorze points tracés pour chaque tour complet de l'aiguille sur le cadran, et qu'il est facile d'ailleurs de distinguer, puisqu'ils se trouvent confinés dans la partie visible de la courroie, peuvent servir eux-mêmes de repères, et se trouvent effacés après chaque révolution de l'aiguille au moyen d'un rouleau de papier buvard contre lequel frotte la courroie.

Télégraphe de M. Theyler. — Depuis longtemps on s'est préoccupé, comme nous l'avons déjà vu, des moyens de faire marcher les télégraphes Morse sans relais, et aujourd'hui l'administration des télégraphes français y tient plus que jamais, surtout depuis que les appareils à encre ont permis d'obtenir des traces suffisamment visibles avec de faibles forces électriques. M. Theyler a voulu, comme M. Hipp, résoudre ce problème, en l'appliquant au système à pointage lui-même, et il y est parvenu d'une manière très-satisfaisante, puisque avec son appareil on a pu échanger directement des dépêches entre Marseille et Paris.

Pour obtenir ce résultat, M. Theyler rend le style de son appareil complétement indépendant de l'action électro-magnétique. Celle-ci n'intervient que comme moyen de déclanchage, et c'est le mécanisme qui entraîne la bande de papier qui fait tous les frais du pointage. A cet effet, ce style se trouve fixé normalement sur un axe tournant qui reçoit son mouvement du mécanisme d'horlogerie lui-même par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue formant un troisième mobile. Cette roue, comme la roue S, fig. 5, pl. I, de l'échappement du télégraphe Tremeschini, est folle sur son axe et peut, par conséquent, être arrêtée sans que le rouage qui la met en mouvement participe à son arrêt. Quant à l'axe tour-

nant lui-même, il est construit de manière à avoir assez de jeu entre ses deux supports pour permettre à un ressort qui le termine d'appuyer ou non contre une rondelle fixe placée à portée. En face de l'autre extrémité de cet axe se trouve l'armature de l'électro-aimant qui, à l'état normal, appuie assez contre le bout libre de cet axe pour que le ressort dont nous venons de parler s'applique à frottement sur la rondelle fixe placée en face de lui. Le frottement de ce ressort est alors suffisant pour arrêter dans son mouvement la roue folle qui tend à le faire tourner avec l'axe lui-même. Mais lorsque l'armature cesse d'appuyer sur l'axe en question, la roue folle devient libre, et cet axe se trouve entraîné. Toutefois, ce mouvement n'est que de courte durée, car le style, une fois abaissé sur le papier, empêche bientôt la roue folle de se mouvoir, mais ce mouvement a suffi pour que ce style pût produire sur le papier le gaufrage nécessaire pour laisser une marque visible.

M. Theyler a employé pour cet appareil une disposition particulière d'électro-aimants qui se rapproche, du reste, de celle de MM. Cecchi, de Lafollye, Regnard, etc. Il fait osciller une armature de fer doux par son centre entre les quatre pôles de deux électro-aimants, et place au-dessous de cette armature un aimant persistant destiné à la polariser. Il en résulte alors que, suivant la direction du courant, cette armature oscille dans un sens ou dans l'autre, et peut réagir d'autant mieux sur le mécanisme que nous avons précédemment décrit, que son magnétisme lui permet d'attirer plus efficacement l'axe tournant au moment du débrayage.

Télégraphe de M. J. Hipp. — Puisque nous avons parlé des avantages fournis par le télégraphe de M. Theyler, il nous semble à propos de revenir sur le télégraphe de M. Hipp, dont nous n'avons dit que quelques mots dans le 3e volume de notre *Exposé*, et qui a servi pourtant de point de départ à l'appareil précédent.

Pour obtenir de la part du mécanisme entraîneur de la bande de papier l'action mécanique nécessaire pour faire réagir le style, M. Hipp construit les deux dernières roues du mouvement d'horlogerie des appareils ordinaires de manière qu'elles aient la même vitesse; ces roues portent sur leurs axes deux autres roues taillées en roues de rencontre ou à rochet, que le moindre mouvement de l'armature fait engrener quand elle est attirée par l'électro-aimant avec la partie supérieure d'un double râteau, dont l'axe est le même que celui de l'armature; ce râteau, en marchant jusqu'à son extrémité, communique le mouvement de la roue supérieure au style qui presse alors sur la bande de papier. Dès que l'aimantation cesse, le mouvement de l'armature fait engrener le dessous du râteau dans la roue inférieure de l'appareil, ce qui remet le style dans sa position primitive. Comme ces mouvements ne durent qu'un instant très-court pour écrire chaque ligne télégraphique, point ou trait, le râteau peut ne présenter qu'un petit nombre de dents, soit pour conduire le levier, soit pour être ramené lui-même quand l'électro-aimant n'exerce plus d'attraction sur l'armature. La vitesse du mouvement dépend de celle des deux roues, qu'on peut rendre telle que l'exige une transmission à la fois prompte et fidèle de la dépêche. M. Hipp estime, à la suite d'une expérience de deux années d'application de ce système dans plusieurs des bureaux de la Suisse, qu'il présente, outre l'avantage de supprimer les relais et les piles locales, celui d'avoir pour l'impression un mouvement parfaitement régulier indépendant de l'adresse employée et dont la vitesse ne dépend que de la volonté du constructeur.

C'est sur le même principe que M. Hipp a construit son télégraphe militaire portatif, que nous avons décrit, page 109 de notre troisième volume.

Télégraphe magnéto-électrique écrivant de MM. Siemens et Halske. — On a employé souvent, comme nous l'avons vu,

les courants d'induction à la marche des télégraphes à cadran et à aiguilles; mais, pour les appliquer aux télégraphes Morse, une grande difficulté, dépendant de la nature même de ces courants, était à résoudre. On conçoit, en effet, que, par suite de leur instantanéité, ces courants ne pouvant produire les alternatives d'aimantation longues et brèves constituant les points et les lignes de l'alphabet Morse, il était impossible d'obtenir avec eux ce mode de combinaison alphabétique. C'est cette difficulté que MM. Siemens et Halske ont résolue dans le système télégraphique dont nous allons parler, et qui nécessite néanmoins un relais et une pile locale.

Au premier abord, on se demande quel motif si puissant a poussé M. Siemens à substituer les courants induits à ceux d'une pile de ligne, puisque les piles locales ne sont pas pour cela supprimées; mais si l'on se rappelle que les courants induits, ayant une beaucoup plus grande tension que les courants voltaïques, peuvent franchir des distances beaucoup plus considérables à travers des conducteurs plus fins, on comprendra immédiatement l'intérêt qui se rattache aux recherches de M. Siemens.

Nous disions donc que le nouveau télégraphe de MM. Siemens et Halske exigeait un relais et une pile locale. C'est, en effet, avec une disposition particulière du relais que M. Siemens est arrivé à éviter les inconvénients résultant de l'instantanéité des courants induits, et c'est avec les piles locales que non-seulement on fait fonctionner le récepteur Morse, mais encore qu'on produit les courants induits eux-mêmes destinés à réagir sur les circuits de ligne, car, dans le système de M. Siemens, les machines magnéto-électriques ne sont pas employées.

Le nouveau relais de M. Siemens, que nous représentons fig. 24 et 25, se compose d'un électro-aimant à deux branches AB, dont la culasse est fixée sur le pôle d'un barreau fortement ai-

manté recourbé de manière à venir présenter en CD un pôle libre. Une armature EF pivotant en E sur ce pôle oscille entre

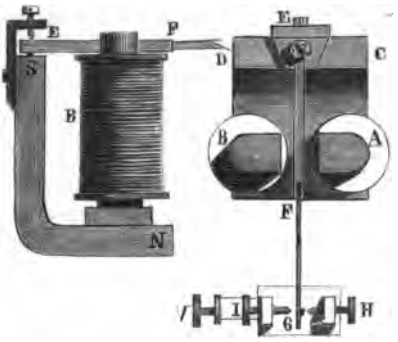


Fig. 24. Fig. 25.

les deux pôles A et B de l'électro-aimant et se termine par un ressort muni de deux contacts en platine. Ce ressort se trouve placé entre deux pointes de vis H, I, qui sont fixées sur un chariot mobile de gauche à droite ou de droite à gauche à l'aide d'une vis V. L'une de ces vis sert de butoir d'arrêt, l'autre de contact pour le relais. Voici maintenant le jeu de cet appareil :

A l'état normal, les branches A et B de l'électro-aimant se trouvent polarisées d'une manière identique par suite de la réaction du pôle recourbé de l'aimant fixe sur la culasse de l'électro-aimant, lequel constitue alors dans son entier l'armature de l'aimant persistant. L'armature EF, par son contact avec le second pôle CD de l'aimant, se trouve également polarisée en sens inverse des branches A et B. Par conséquent, étant placée entre A et B, elle subira une réaction double et inverse qui n'aura aucun effet si elle se trouve exactement au milieu de l'espace AB, mais qui pourra devenir efficace soit d'un côté, soit de l'autre, si l'armature se trouve reportée vers A ou vers B. Supposons donc qu'à l'état de repos, et

par suite de la disposition du chariot HI, cette armature soit butée contre la vis I et un peu, très-peu inclinée du côté de B, qu'arrivera-t-il quand un courant instantané passera?... Si ce courant est dirigé de manière à aimanter la branche A de l'électro-aimant dans le même sens que la polarité qui lui est déjà communiquée par l'aimant, la force polaire de A sera considérablement augmentée; mais comme la branche B se trouve polarisée par le courant en sens contraire de sa polarité normale, sa force se trouve considérablement diminuée; il en résultera donc que l'armature EF sera attirée vers A, et cette action subsistera après que le courant aura cessé d'exister, car l'armature EF se trouvera alors plus rapprochée de A que de B. Il en sera de même, mais dans un sens contraire, quand un courant induit inverse aura succédé au premier. Or, comme cette succession du courant inverse n'a lieu qu'au moment même où l'effet plus ou moins long qu'on veut obtenir de la part du premier courant est produit, il en résulte que l'on se trouve dès lors avec les courants induits dans les mêmes conditions qu'avec les courants de pile de ligne.

M. Ailhaud fait remarquer que ces relais ont une telle sensibilité, qu'avec le courant produit par des piles de 3, 5 et 7 éléments (pour animer l'appareil d'induction), on a pu obtenir avec ces relais les mêmes effets que ceux que l'on pouvait produire avec des piles de 8, 13, 19 éléments agissant directement sur des relais ordinaires amenés à leur maximum de sensibilité.

Tout en rendant complète justice à l'ingénieuse disposition de relais que nous venons d'étudier, je dois cependant dire que le prolongement des effets produits sur des armatures par des courants de courte durée avait été obtenu par des moyens sinon analogues, du moins aussi simples, bien avant M. Siemens. Dans mon avertisseur des convois, que j'ai décrit page 188 de mon deuxième volume, j'obtiens un effet exactement du même genre, en profitant de la réaction du

magnétisme d'un barreau aimanté sur le noyau de fer de l'une ou l'autre des branches d'un électro-aimant après qu'un courant a fait dévier ce barreau dans un sens ou dans l'autre.

Il nous reste maintenant à décrire le manipulateur de l'appareil de M. Siemens. Ce manipulateur est, du reste, d'une simplicité extrême, puisqu'il n'est autre chose qu'une clef de Morse agissant sur le courant inducteur d'une double bobine d'induction disposée dans le genre de celle de M. Ruhmkoff, moins l'interrupteur. Ce courant inducteur est fourni par la pile locale, et comme chaque fermeture de ce courant produit un courant induit inverse et chaque ouverture un courant induit direct, il n'y a rien à changer dans la pratique à la manipulation ordinaire de la clef des télégraphes écrivants.

C'est pour faire varier l'intensité des courants induits qui doivent être transmis que MM. Siemens et Halske ont doublé leur bobine d'induction en lui adjoignant un commutateur susceptible de réunir les bobines soit en tension, soit en quantité, ou même de ne les prendre qu'isolément; on peut ainsi graduer l'intensité du courant suivant les résistances à vaincre, et obtenir plus de sûreté dans le jeu des appareils.

Système télégraphique de M. de la Follye. — Nous avons vu, page 219 de notre *Étude du magnétisme* et de l'*Électromagnétisme*, que M. de la Follye, par une disposition ingénieuse qu'il avait donnée aux électro-aimants, était parvenu à supprimer le ressort antagoniste des armatures, et à rendre ses appareils susceptibles d'être employés comme appareils silencieux. Bien que quelques expériences aient démontré la validité de ce système, plusieurs personnes sont demeurées incrédules, prétendant qu'avec des courants aussi inégaux en intensité que ceux des lignes télégraphiques, non-seulement les armatures de fer doux pouvaient être rappelées avec un courant contraire à celui de leur marche normale.

mais même que l'attraction de l'aimant fixe appelé à remplacer le ressort antagoniste pouvait être complétement neutralisée dans certains cas, avec des courants un peu énergiques. M. de la Follye a cherché à réduire à néant ces objections en donnant à ses appareils une nouvelle forme que nous représentons ci-dessous (fig. 27).

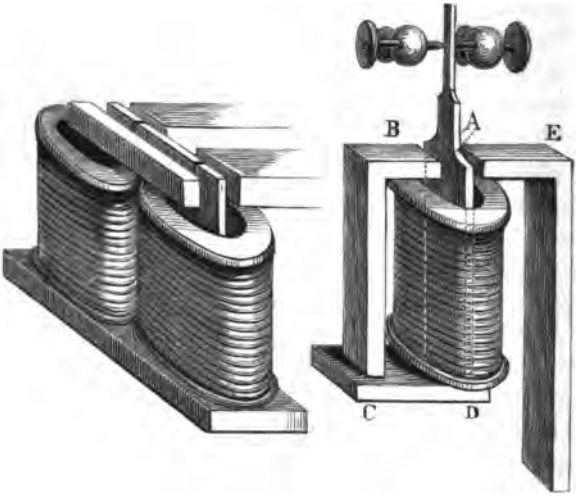


Fig. 26. Fig. 27.

Cette nouvelle forme consiste dans un électro-aimant boiteux A B dont l'une des branches A, entourée de la bobine magnétisante, est mobile à l'intérieur du canon de cette bobine, et se trouve articulée sur la culasse CD. Cette branche oscille par conséquent entre la branche sans bobine B et l'aimant fixe E placé en regard de celle-ci; elle joue donc par le fait le rôle d'une véritable armature. Les avantages de ce système sont faciles à comprendre : d'abord le système magnétique en dehors de la bobine magnétisante étant moins long qu'avec une armature articulée sur l'un des pôles de

l'électro-aimant, l'extrémité A qui subit la réaction du pôle B de l'électro-aimant, est beaucoup plus fortement polarisée que ce pôle. *C'est donc elle qui commande la réaction et non le pôle B.* Or, si l'aimant fixe E est suffisamment énergique pour correspondre au maximum de polarité que peut acquérir A sous l'influence du courant de ligne, il arrivera que, quelle que soit la force de ce courant, la réaction de A sur E sera effective comme réaction substituée à la force antagoniste, et que B ne réagira sur A qu'autant que A sera convenablement polarisé pour réagir sur B. Le magnétisme rémanent de B étant très-minime sera d'ailleurs toujours ingnifiant.

M. de la Follye a fait voir dans son mémoire que si on représentait par 1 la force électro-motrice minima nécessaire pour faire fonctionner l'appareil sous l'influence du courant actif, $2 + \frac{1}{2}$ était la limite maxima au delà de laquelle l'appareil à deux bobines cessait d'être silencieux. Avec l'électro-aimant boiteux la limite inférieure étant encore représentée par 1, la limite maxima est représentée par 4 ou 5. La suppression de la bobine a donc rendu presque double la faculté silencieuse du système.

M. de la Follye a encore imaginé d'autres combinaisons électro-magnétiques dans le même but que le système précédent, et dont on peut se faire une idée par l'inspection de la figure 26.

Ces combinaisons se comprennent aisément. Dans l'une, à laquelle on a donné le nom d'*électro-aimant complet articulé*, l'électro-aimant est à deux bobines, et chacune de ses branches est articulée sur la culasse de manière que son extrémité polaire oscille entre un barreau de fer doux et l'un des pôles d'un aimant fixe en fer à cheval. Pour que les mouvements de ces deux branches soient solidaires, elles sont réunies par une traverse de cuivre. Les pôles de l'aimant fixe servent de force antagoniste, et le fer doux en recevant l'in-

fluence des branches polaires détermine la réaction provoquée par celle-ci absolument comme le fait la branche sans bobine de l'électro-aimant boiteux dans la première disposition représentée fig. 27.

Si dans la disposition représentée sur la figure on laisse les deux branches indépendantes l'une de l'autre en supprimant la traverse de cuivre qui les reliait tout à l'heure, les deux pôles développés aux extrémités libres restant de signes contraires, il arrivera que, si au lieu d'un aimant fixe en fer à cheval on place deux aimants droits présentant d'un même côté des pôles semblables, le courant dirigé dans un sens fera marcher l'une des branches seulement de ce système électromagnétique, et le courant dirigé en sens inverse fera marcher l'autre branche. De là le nom d'*électro-aimant articulé à double effet* que M. de la Follye a donné à ce système.

Si l'on remplace maintenant le barreau de fer doux par deux nouveaux aimants placés en face des premiers, et si l'on donne le même signe aux aimants diagonalement opposés, il est clair que les tiges oscillantes se porteront ensemble d'un côté ou de l'autre, suivant le sens du courant, et qu'elles y resteront au repos après l'émission de ce courant sous l'action des aimants voisins qui les auront attirés. Ce système, d'ailleurs, complétement semblable, quant au principe, à celui du père Cecchi, a été appelé par M. de la Follye *électro-aimant articulé à oscillations simples.*

Enfin si les signes des deux aimants d'un même côté des bobines sont égaux et contraires à ceux des aimants opposés, chaque inversion du courant fera faire à chaque tige une oscillation simple, inverse de celle de l'autre. Cette disposition peut être appelée *électro-aimant articulé à oscillations inverses.*

Voici maintenant comment M. de Lafollye dispose ses appareils pour les utiliser pratiquement aux stations comme appareils silencieux et pour la communication simultanée.

Soient *a* et *b* deux stations extrêmes, 1, 2,..... des stations intermédiaires. Les récepteurs extrêmes sont insensibles au courant négatif (ce qui dépend de la manière dont on attache les fils aux appareils). Dans les stations intermédiaires 1, 2,..... sont des relais insensibles au courant positif. Des commutateurs complexes servent à les mettre en rapport, suivant le besoin, soit avec des sonneries à trembleur, pendant l'attente et l'inaction, soit avec les récepteurs, pendant les transmissions. Ils sont établis de manière que dans l'inaction une partie du courant circulant dans la ligne, se dérive et passe dans les relais. — Supposons que *a* veuille transmettre à *b;* il envoie *positivement* sur la ligne le courant de sa pile, dont les dérivations dans les stations 1, 2,..... n'impressionnent pas les relais, tandis que ce courant fait fonctionner le récepteur de *b;* si *a* veut communiquer avec un des postes intermédiaires, après avoir prévenu *b*, il inverse les pôles de sa pile et envoie *négativement* son courant sur la ligne; toutes les sonneries des stations 1, 2, 3,..... marchent. Pour ne leur laisser aucun doute sur le poste qui doit répondre, ni sur le côté de la ligne qui l'appelle, il suffit de convenir que le nombre de coups de sonnerie indique le numéro donné au poste appelé, et que ce nombre est précédé ou suivi d'un coup d'une plus longue durée, suivant que c'est un côté ou l'autre qui appelle. C'est ce que dans l'alphabet Morse on désignerait par — - - - ou par - - - —. Le poste appelé tourne son commutateur complexe et le dirige, suivant une indication écrite qu'il porte, sur le côté de la ligne qui l'appelle, en isolant l'autre. Ce mouvement suffit pour diriger le courant dans le récepteur et pour isoler la sonnerie. Le poste intermédiaire répond en envoyant un courant positif qui n'impressionne que le poste extrême qui l'a appelé. Le commutateur complexe est disposé de manière à inverser le courant qui arrive au relais lorsqu'on isole la sonnerie; de sorte que l'échange des transmissions se fait

avec un courant positif, tandis que l'appel se fait avec un courant négatif. — Il est clair que si un poste intermédiaire avait à transmettre à un poste extrême, il n'aurait qu'à faire de lui-même la petite opération qu'il a dû faire pour répondre.

La communication entre postes intermédiaires s'établit exactement de la même manière. L'appel se fait avec un courant négatif, et la transmission avec un courant positif.

Pour établir une communication simultanée de tous les postes intermédiaires et extrêmes, ceux-ci, après s'être prévenus, inversent le courant arrivant à leurs relais. Puis, si c'est le poste *a* qui transmet, il appelle les postes intermédiaires par (— —) deux longs coups de sonnerie. Ceux-ci, au moyen d'un commutateur spécial, isolent la sonnerie, et mettent leur pile locale en communication avec le récepteur; puis ils répondent successivement à l'appel, comme cela avait lieu autrefois avec les appareils à signaux Chappe [1]. Tous les postes se servent alors du courant négatif pour correspondre entre eux.

Cet arrangement, qui paraît un peu compliqué dans une explication, est excessivement simple dans la pratique.

Voici deux expériences qui ont été faites sur les lignes de l'État avec le relais figuré précédemment :

1° On a établi un circuit métallique qui partant de Paris, et y revenant, passait à Orléans. Il avait par conséquent une longueur de 242 kilomètres. La résistance de l'électro-aimant du relais mis en relation avec le circuit est de 200 kilomètres de ligne. Il a fonctionné avec une régularité remarquable avec une pile de Daniell qu'on faisait brusquement varier de 10 à 25 couples. On emploie ordinairement pour com-

1. Ce mode de transmission avait été abandonné à cause de la difficulté de faire fonctionner plusieurs appareils avec des intensités de courant différentes et variables, mais il devient possible avec le système de M. de Lafollye.

muniquer à la même distance une pile composée de 60 à 100 des mêmes couples.

2° On a établi un second circuit de Bordeaux à Bayonne, par Agen, Pau, et retour par la même voie; longueur environ 800 kilomètres. Le même relais, malgré sa faible résistance, a parfaitement marché avec une pile variant de 30 à 60 couples, insuffisante pour faire fonctionner régulièrement un appareil très-sensible mis en comparaison.

Système télégraphique de M. Varley pour les lignes sous-marines.— Nous avons déjà parlé, dans le deuxième volume de notre exposé, de cet ingénieux système. Mais les détails de construction nous manquant alors, nous n'avions pu qu'en indiquer le principe. Aujourd'hui nous sommes un peu plus avancé, car nous connaissons dans leurs détails les dispositions des relais et des manipulateurs. Cependant, en raison de la longueur et de l'obscurité des renseignements qui ont été fournis par M. Varley, nous n'avons pas encore une idée parfaitement nette du système, qui est très-complexe à en juger par les dispositions diverses données aux appareils. Quoi qu'il en soit, à défaut d'une description complète du système entier, nous allons essayer de donner une idée du manipulateur destiné à réagir sur le relais, que nous avons déjà décrit page 138.

Dans le système de M. Varley, le manipulateur doit, comme nous l'avons dit, réagir sur le récepteur par inversions alternatives du courant en opérant après chaque inversion une communication avec le sol pour décharger l'électricité statique accumulée dans le fil de ligne immergé.

Pour obtenir ce résultat, M. Varley donne à la clef la forme représentée fig. 28, page 192.

Cette clef porte, comme on le voit, en I un levier L, articulé à frottement dur et oscillant entre 4 butoirs E, H, G, F; deux de ces butoirs H et E communiquent aux deux pôles opposés de la pile. Mais cette pile, par une raison que nous

n'avons guère pu saisir, est divisée en deux parties, une petite et une grande, qui sont mises en rapport avec la plaque

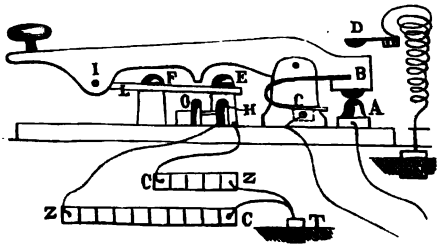


Fig. 28.

de terre par leurs pôles libres. Le fil de ligne correspond au ressort de rappel C, et le butoir A, sur lequel s'appuie le talon B de la clef, est en rapport avec le relais local. Enfin, au-dessus de ce talon B se trouve un appendice à ressort D mis en communication avec le sol par l'intermédiaire d'une bobine de résistance.

Lorsque la clef est dans sa position normale, la communication du fil de ligne avec le récepteur de la station est établie comme dans les manipulateurs ordinaires. Mais quand cette clef est abaissée, le levier L rencontre d'abord le butoir H sur lequel il appuie, puis le butoir G qui l'écarte de H. Or, du contact de L avec H est résultée une fermeture de courant qui a permis à celui-ci de circuler, en entrant dans le circuit, par la terre, et en en ressortant par C, B, I, L, H, Z. Au moment de l'interruption du courant, le talon B rencontre l'appendice D, et le fil de ligne est mis en rapport avec le sol. Quand la clef se relève, le levier L rencontre bientôt le butoir E, dont il est détaché un instant après par l'intervention du butoir F; mais pendant le contact de L avec E le courant a suivi le circuit C, E, L, I, B, C, le fil de ligne et la terre. Aussitôt que le talon B de la clef est revenu

en contact avec le butoir A, la communication du fil de ligne avec la terre est de nouveau établie.

Télégraphe de M. Garapon. — M. Garapon, comme M. Regnard, dont j'ai décrit le système (page 103, deuxième volume de mon *Exposé*), s'est surtout préoccupé de la lenteur des transmissions télégraphiques dans le système Morse et a cherché à suppléer à ce défaut par une combinaison particulière des signaux alphabétiques. Mais pour pouvoir bien apprécier la supériorité de son système sur le système ordinaire, il était nécessaire de connaître exactement la durée moyenne de la transmission d'un signal dans le système Morse, et pour cela M. Garapon a fait des calculs fort intéressants que nous croyons devoir donner ici, car ils pourront fournir des termes de comparaison fort utiles pour l'appréciation des vitesses de transmission télégraphique.

M. Garapon a commencé d'abord par se faire donner par l'administration des télégraphes français une dépêche de 116 signaux exempte d'erreurs et transmise en une minute par l'un des plus habiles employés du poste central.

Les points, traits, entre-points, etc., de cette dépêche ont été ensuite mesurés à l'aide d'une machine à diviser pouvant faire apprécier moins d'un cinq centième de millimètre, et l'on a trouvé les résultats suivants :

LONGUEUR DU PAPIER COUVERTE PAR LA DÉPÊCHE 1m 232,250.

	m. mm.	
Longueur totale des points au nombre de 176.....	0 239,380	Moyenne de chaque point 1mm,360
Longueur des traits au nombre de 123.....	0 407,360	Moyenne de chaque trait..... 3mm,311
Longueur des entre-points au nombre de 184.....	0 154,090	Moyenne de chaque entre-point.0mm,837
Longueur des entre-lettres et mots, 116.....	0 431,420	Moyenne de chaque entre-lettre.3mm,784
Total.....	1 232,250	

Les entre-points sont, comme on le sait, les intervalles blancs qui séparent les points ou les traits composant un même signal; les entre-lettres ou les entre-mots sont les espaces blancs qui séparent les combinaisons de points et de traits composant les divers signaux.

Si l'on divise le temps (une minute) et la totalité de la longueur occupée par la dépêche par 116, le nombre des signaux, on trouve que chaque signal ou lettre couvre $10^{mm},6$ de papier, et représente une durée de $0'',51$. Ces valeurs d'espace et de temps comprennent, bien entendu, les intervalles blancs fournis par les ouvertures du courant pour produire les entre-points et les entre-lettres et mots, puisque ces entre-points et entre-lettres font partie constituante des signaux eux-mêmes. Si on cherche maintenant combien de fermetures et d'ouvertures de courant combinées de manière à fournir les points et les entre-points correspondent à cette valeur moyenne des signaux, on trouve que chaque signal est équivalent à cinq fermetures et cinq ouvertures de courant. En effet, la moyenne longueur d'un point et d'un entre-point, c'est-à-dire l'action complète représentée par une fermeture et une ouverture du courant, est $2^{mm},197$, dont la moitié est $1^{mm},098$. Or, si l'on divise la longueur totale de la dépêche de $1^{m},232$ par $1^{m},098$, on trouve que cette dépêche serait remplie par 1122 points et entre-points, c'est-à-dire par 561 points noirs et 561 entre-points blancs. En divisant ce nombre 1122 par 116, le nombre des signaux, on trouve pour valeur d'un signal ou lettre $9,^{points}67$, nombre qui, multiplié par 1,098, longueur d'un point noir ou blanc, donne bien $10^{mm},6$, valeur déjà trouvée comme longueur correspondant à un signal complet exécuté en $0'',51$.

Ainsi une lettre peut être représentée dans la pratique par $9,^{points}67$, ou, en nombre rond, par 10 points, ce qui exige cinq ouvertures et cinq fermetures de courant, les points n'étant lisibles que grâce à leur isolement les uns des

autres. Nous ferons toutefois remarquer que cette valeur des signaux est bien différente, suivant qu'on la considère par rapport au résultat pratique ou par rapport à l'ensemble des signaux formant l'alphabet complet.

Il résulte, en effet, du mode de groupement des signaux et de la manière dont les signaux les plus courts ont été appropriés aux lettres qui se renouvellent le plus fréquemment dans l'écriture, que la moyenne pratique est bien inférieure à la moyenne de l'alphabet complet, et à plus forte raison à la moyenne des chiffres et des signaux conventionnels. Voici, en effet, quelles sont ces moyennes :

ALPHABET MORSE COMPOSÉ DE 32 LETTRES.

Nombre de points.....	54 —	Longueur totale..		73,440	Moyenne 13,654
Nombre de traits.....	54 —	—	—	178,794	
Nombre d'entre-points.	76 —	—	—	63,612	
Nombre d'entre-lettres.	32 —	—	—	121,088	

CHIFFRES AU NOMBRE DE 10.

Nombre de points.....	25 —	Longueur totale..		34,000	Moyenne 18,809
Nombre de traits.....	25 —	—	—	82,775	
Nombre d'entre-points.	40 —	—	—	33,480	
Nombre d'entre-lettres.	10 —	—	—	37,840	

SIGNES CONVENTIONNELS AU NOMBRE DE 4[1].

Nombre de points.....	16 —	Longueur totale..		21,760	Moyenne 23,142
Nombre de traits.....	11 —	—	—	36,421	
Nombre d'entre-points.	23 —	—	—	19,251	
Nombre d'entre-lettres.	4 —	—	—	15,136	

La moyenne générale de l'alphabet complet est 15p,599 pour une lettre. Or, nous avons vu que la moyenne de la pratique est 9,67.

1. Ces signaux conventionnels sont : virgule, — télégraphe, — attaque, — finale.

Cette distinction des moyennes était d'une grande importance à signaler, parce que, en raisonnant sur des moyennes de la pratique qui peuvent varier suivant les dépêches, on pourrait faire des erreurs plus ou moins grandes, tandis qu'en prenant la moyenne de l'ensemble alphabétique, on se trouve dès lors avoir un terme de comparaison immuable, basé sur des données pratiques, puisque les longueurs qui ont été affectées aux points, aux traits, aux entre-points et aux entre-lettres dans le tableau précédent, ont été déduites de la dépêche originale remise à M. Garapon. Nous pouvons donc considérer 15 points et demi comme étant la mesure de chaque lettre dans le système actuel de la télégraphie, et 0″,82 comme étant la durée moyenne de la transmission de chaque lettre, ce qui fournit, en partant de ces données, une vitesse de transmission de 73,17 signaux par minute.

Pour augmenter cette célérité de transmission télégraphique dans les appareils écrivants, M. Garapon a cherché à simplifier l'alphabet Morse au point de vue des mouvements nécessaires à la production des signaux, et pour cela il a cherché à introduire dans l'élément traçant un mouvement particulier qui permît d'utiliser les positions différentes des traits à l'égard d'une ligne horizontale, de manière à exprimer des signaux différents, sans nécessiter pour cela des fermetures multipliées du courant.

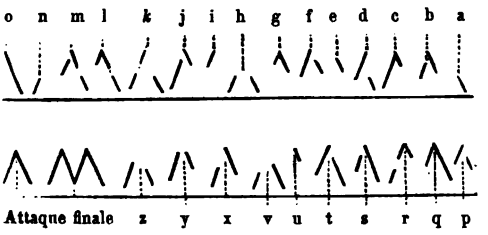
Pour obtenir ce résultat, il suffit, comme on le comprend aisément, de donner au style traçant un mouvement perpendiculaire au mouvement de translation de la bande de papier; car de la combinaison de ces deux mouvements résultent des traits inclinés en deux sens différents, comme des jambages qui, étant pris conjointement ou séparément dans un sens ou dans l'autre, à moitié ou dans toute leur longueur, peuvent fournir un grand nombre de combinaisons simples ne nécessitant pas une manipulation compliquée. M. Garapon a pu s'assurer, en effet, qu'avec six points seu-

lement, répartis blancs ou noirs à volonté, sur un espace représentant en temps une fraction proportionnelle à la valeur du temps employé à produire 9, points 67, il a été possible d'établir 64 combinaisons ne représentant chacune que 0″,32 comme valeur du temps nécessaire à leur émission (les six points représentant 3 ouvertures et 3 fermetures de courant). Il en résulte que l'accélération dans la transmission télégraphique se trouve augmentée, avec ce système, de 43 pour cent, et cette accélération est due :

1° A un moindre temps pour l'émission des lettres; (0″,32 au lieu de 0″,51);

2° A la suppression des entre-lettres, représentées dans l'ancien système par des ouvertures de courant, et qui peuvent être indiquées dans le système nouveau par la forme même des signaux;

3° A l'avantage résultant de la possibilité de représenter 26 assemblages de doubles ou triples lettres par un seul signal. La gravure ci-dessous montre, du reste, l'alphabet de M. Garapon tel qu'il est reproduit avec son appareil.



Le moyen d'obtenir de la part du style ce mouvement perpendiculaire à la marche de la bande qui reçoit la dépêche est très-simple en lui-même. Il suffit en effet pour cela de placer le style sur une pièce dépendante du mécanisme d'horlogerie et accomplissant d'une manière continue un mouvement de va-et-vient, par suite de la réaction d'une excentrique

sur un levier articulé. L'armature de l'électro-aimant agit alors sur ce style en lui présentant la bande de papier, comme dans le télégraphe Digney. Seulement en raison du mouvement de ce style, la partie du levier qui soulève cette bande de papier doit présenter une surface à peu près plane. Maintenant, pour que l'on puisse se servir comme moyens de combinaisons alphabétiques de la position des traits aux extrémités supérieure et inférieure de ce mouvement, il faut que le manipulateur et le récepteur se trouvent mis en rapport de vitesse, et par conséquent que le déclanchage du récepteur s'effectue sous l'influence même de l'émission de la dépêche. Nous avons déjà vu comment MM. Morse et Regnard étaient parvenus à résoudre ce dernier problème, qui d'ailleurs ne présente pas de difficultés sérieuses dans sa solution, et c'est un moyen analogue à celui de M. Regnard, qu'a employé M. Garapon; mais pour obtenir un synchronisme de mouvement entre le récepteur et le manipulateur, la question était plus compliquée surtout en conservant le mécanisme des télégraphes Morse actuellement en usage comme voulait le faire M. Garapon. Après y avoir réfléchi longtemps, cet inventeur s'est demandé si, dans le système des télégraphes écrivants, un synchronisme parfait était aussi nécessaire que dans les télégraphes imprimeurs et autographiques. Il put aisément s'assurer que non, car avec deux mouvements d'horlogerie convenablement réglés, mais établis sans aucune précision, le défaut de synchronisme ne se manifeste pas brusquement; ce n'est qu'au bout de quelques instants que les différences s'observent. En employant donc de simples mouvements d'horlogerie dans les appareils Morse combinés ainsi que nous l'avons dit précédemment, les signaux ne se déformeraient que successivement, mais alors celui qui recevrait la dépêche en serait averti, car les traits au lieu d'être droits se déformeraient aux angles des jambages et n'auraient plus la disposition voulue. Or, pour rétablir le synchronisme, il suf-

firait d'une vis régulatrice adaptée au mécanisme moteur du style que l'employé chargé de recevoir la dépêche manœuvrerait lui-même, suivant que besoin en serait, et au moyen de laquelle il modifierait la position du style lui-même. Tel a été le raisonnement sur lequel M. Garapon a fondé son système de synchronisme, système qu'on pourrait appeler *synchronisme par correction*. Nous n'insisterons pas sur les détails mécaniques de l'appareil de M. Garapon qui ne sont pas encore définitifs, nous dirons seulement que pour donner plus de régularité aux mouvements de ses appareils, M. Garapon a substitué aux volants à ailettes les pendules coniques appliqués par Huygens à l'horlogerie. Cette substitution entraîne, il est vrai, un ralentissement dans la vitesse du moteur, mais comme la série des signaux qui peuvent être faits occupe sur le papier, avec le système dont nous avons parlé, une place beaucoup moins grande que dans le système ordinaire, la vitesse de déroulement de la bande de papier n'a pas besoin d'être aussi considérable.

Une des questions les plus délicates que M. Garapon a eues à résoudre dans son nouveau système était le traçage des signaux. On comprend en effet qu'avec un style fixe, une rainure pratiquée sur l'un des cylindres moteurs de la bande de papier peut permettre le gaufrage du papier sous l'influence électro-magnétique, mais avec le nouveau système, cette rainure ne pouvant exister, tout gaufrage devenait impossible. D'un autre côté l'emploi des tire-lignes et des crayons était condamné depuis longtemps, et le papier électro-chimique même préparé à l'azotate d'ammoniaque n'avait pas donné des résultats pratiques assez satisfaisants, pour qu'on pût avoir de nouveau recours à lui. Restait donc le système à molette employé par MM. Digney. Dans l'origine M. Garapon organisa son système pour être adapté à ce mode de traçage, mais il dut bientôt y renoncer en raison de la difficulté de faire mouvoir les bandes de papier perpendiculairement à la surface

de la roue frottante. C'est alors qu'il pensa à substituer à tous ces moyens de traçage un nouveau moyen fondé sur le principe des encres sympathiques.

On sait que certaines substances, telles que les acides sulfurique et nitrique étendus d'eau, les chlorures et oxydes de cobalt, l'hydrochlorate d'or, le nitrate d'argent, le lait, le suc d'oignon même, donnent au papier qui en est imprégné la propriété de noircir sous l'influence de la chaleur ou du contact d'un corps chaud. De cette propriété résulte que si, par un moyen quelconque, on peut rendre le style des télégraphes Morse constamment chaud, les traces fournies par lui pourront être noires par le seul fait de son contact avec la bande de papier. Or, pour obtenir un style dans ces conditions calorifiques, il suffit simplement de le composer d'un fil de platine replié sur lui-même et d'une assez mince section pour être chauffé presque jusqu'au rouge par le courant d'un élément de Bunsen. C'est alors la partie anguleuse de ce fil replié qui, en touchant le papier, fournit les marques, absolument comme la lame de fer dans les télégraphes électro-chimiques. L'expérience n'a pas encore démontré si ce moyen est réellement pratique, mais, quoi qu'il en soit, il est très-ingénieux, et peut être appliqué dans beaucoup de cas.

Il me reste maintenant à indiquer la disposition du manipulateur que M. Garapon a définitivement adoptée. Cette disposition n'est pas arbitraire, car nous savons que pour profiter des avantages du système de M. Garapon, il faut que les émissions du courant surprennent le style du récepteur dans des positions déterminées qui ne peuvent être indiquées que par un mouvement synchronique. Or, pour que la manœuvre d'un pareil télégraphe soit facile, il faut nécessairement un manipulateur mécanique.

Ce manipulateur n'est autre qu'un manipulateur à touches analogues à celui de M. Joly ou de M. Regnard que nous

décrirons plus loin, mais disposé de telle manière que la transmission d'une lettre ne puisse se faire que quand celle de la lettre qui précède est elle-même effectuée. Le mécanisme moteur est d'ailleurs réglé de façon que les émissions de courants produites par l'abaissement de l'une ou l'autre des touches s'effectuent en temps opportun pour surprendre le style du récepteur dans les positions voulues pour reproduire la forme du signal envoyé. Le mouvement de ce mécanisme et celui du récepteur sont donc solidaires l'un de l'autre, et c'est pour régulariser cette solidarité que la vis régulatrice du récepteur est introduite ainsi que nous l'avons vu. La manipulation de cet instrument est d'autant plus facile qu'une aiguille placée au-dessus de l'appareil indique quand le signal est transmis en totalité.

Télégraphe de M. Achard. — M. Achard a voulu appliquer le principe de son embrayeur à hélice aux télégraphes Morse, afin de les mettre dans la possibilité de marcher sans relais à toutes distances, et sous l'influence d'une force électrique très-minime, mais les résultats qu'il a obtenus ne sont pas assez satisfaisants pour qu'on puisse affirmer si ce système présente quelques avantages sur les télégraphes actuellement en usage. Au premier abord, on pourrait croire même que ces derniers doivent avoir l'avantage par rapport à la célérité des mouvements. Quoi qu'il en soit, comme ce système constitue une idée nouvelle, nous devons dire quelques mots sur sa disposition.

Nous avons décrit, page 315, tome Ier de l'*Exposé*, l'*embrayeur à hélice* de M. Achard. Or, que l'on suppose monté sur un bâti approprié au télégraphe un mécanisme de ce genre de très-petites dimensions mis en mouvement rapide par le mécanisme d'horlogerie qui doit entraîner la bande de papier, on comprendra facilement que si le pas de la vis de l'embrayeur est excessivement petit, le porte-style mis en mouvement par le chariot de cet embrayeur pourra avancer d'une certaine

quantité contre le cylindre sur lequel se déroule le papier. Si ce porte-style est très-rapproché de ce cylindre et qu'il puisse se replier sur lui-même au moyen d'un ressort-boudin, il pourra même arriver que pour une fermeture instantanée du courant le style avancera seulement contre le papier et y marquera un simple point, tandis que pour une fermeture de courant plus prolongée il appuiera un temps plus long et laissera par suite une trace plus longue. Dans ce dernier cas, il est vrai, le style sera obligé de se replier sur lui-même; mais comme le pas de la vis de l'embrayeur est très-petit, ce refoulement n'occasionnera pas une tension du ressort-boudin assez forte pour déchirer le papier et arrêter le mouvement des cylindres. D'ailleurs, après être refoulé d'un ou de deux millimètres environ, le chariot du style échappe mécaniquement l'embrayeur comme étant au point le plus éloigné de sa course. On gagne à cette disposition, suivant M. Achard, que les attractions électro-magnétiques, au lieu de se faire à distance, se font au contact et par conséquent que la force se trouve grandement augmentée.

Maintenant, comment les transmissions promptes s'arrangeront-elles d'un système d'attraction intermittent? C'est une question que la pratique seule peut trancher, mais il semble que si la fermeture du courant est instantanée et qu'elle surprenne l'appendice oscillant de l'embrayeur dans sa position la plus éloignée du pas de vis, l'attraction n'aura plus lieu au contact et pourra ne pas se faire sentir suffisamment pour motiver le jeu de l'embrayeur. On nous répondra qu'on a fait en sorte de rendre les mouvements oscillatoires de l'embrayeur tellement prompts qu'ils soient toujours plus instantanés que ceux produits par la main de l'homme; mais pour obtenir un pareil résultat, il faut des mécanismes d'horlogerie très-puissants et, partant, assez dispendieux.

Avec l'embrayeur à frottement de M. Achard, que nous avons décrit page 155, le problème pourrait être résolu de la

même manière et même plus simplement, mais les inconvénients précédents n'en seraient pas pour cela écartés. En somme, je crois que l'embrayeur électrique peut être appliqué d'une manière beaucoup plus avantageuse dans une foule d'autres applications électriques que dans la télégraphie, où il n'existe pas de fonction énergique à développer.

Nouveau télégraphe à pointage de M. Wheatstone.—M. Wheatstone vient de construire un télégraphe à pointage dont le jeu est d'une rapidité extrême, mais dont il n'a pas encore fait connaître la disposition. « Tout ce que nous pouvons dire à cet égard, dit le *Cosmos,* c'est que cet instrument, appelé à un emploi universel sur les lignes de grand trafic, est un petit télégraphe imprimant en points parfaitement nets tracés en encre noire sur du papier blanc ordinaire. Il n'exige aucun relais, et il pointe en signaux très-lisibles *quatre cents lettres par minute*, et cela dans quelque langue, connue ou inconnue, que soit expédiée la dépêche, alors même qu'elle serait expédiée en chiffres. » Si des détails plus circonstanciés nous arrivent d'ici à la fin de l'impression de ce volume, nous reparlerons de cet appareil dans nos appendices.

Manipulateurs des télégraphes écrivants. — Bien que tous les essais entrepris par M. Morse et une foule d'autres inventeurs dans le but de substituer, au jeu si simple de la clef des télégraphes écrivants, l'action automatique des transmetteurs mécaniques, n'aient pas encore convaincu les praticiens [1], beaucoup d'inventeurs cherchent encore à résoudre ce problème, et ont présenté dans ces derniers temps plusieurs systèmes assez ingénieux. Tout en pensant que ces systèmes ne détrôneront pas encore la simple clef actuellement en usage, je ne puis cependant les passer sous silence, car à force d'être circonspcet, je manquerais le but que je me suis proposé d'atteindre.

1. Voir l'*Exposé des applications de l'électricité,* 2e vol., page 89.

L'un des plus simples manipulateurs de ce genre, et aussi l'un des plus nouveaux quant à son principe, est le *porte-crayon manipulateur* de M. Ailhaud qui permet de transmettre une dépêche à mesure qu'on l'écrit.

Ce nouveau système de manipulateur consiste dans un simple porte-crayon dont la tige est mobile dans un étui et peut réagir par l'intermédiaire d'un petit levier coudé sur un interrupteur de courant analogue à ceux des télégraphes Breguet. Deux petits fils assez longs, facilement extensibles, adaptés à cet interrupteur, établissent les communications électriques, et un ressort-boudin pousse toujours vers l'extrémité du porte-crayon la tige mobile qui le soutient. Il résulte de cette disposition que toutes les fois que l'on appuie sur le papier pour marquer un trait, le courant électrique se trouve fermé par l'interrupteur, et cette fermeture dure d'autant plus longtemps que le trait qu'on trace est lui-même plus long. Ce moyen a permis à M. Ailhaud de faire intervenir la longueur des traits dans les combinaisons de l'alphabet Morse pour les rendre plus nets et plus faciles à distinguer. On comprend, en effet, qu'il faudra toujours plus de temps pour tracer à la main un double crochet qu'un simple trait, quelque irrégulière que soit la vitesse qu'on imprime d'ailleurs au porte-crayon. Or, cette différence de temps suffit pour rendre parfaitement distinctes les marques produites. Ces appareils, bien exécutés par M. Mouilleron, ont été en usage dans plusieurs bureaux télégraphiques et ont fourni, paraît-il, d'assez heureux résultats. Le même inventeur a aussi imaginé d'employer au même usage des plumes métalliques qui, étant promenées sur une planche de cuivre, serviraient directement d'interrupteur au courant, tout en laissant les traces de la dépêche sur la plaque de cuivre ; mais ce moyen est, ce nous semble, moins sûr que le premier dont nous avons parlé.

On a beaucoup parlé des manipulateurs alphabétiques de

M. A. Joly, mais avec la meilleure volonté du monde, il m'est bien difficile de voir ce qu'ils présentent de réellement nouveau sur les appareils du même genre imaginés par M. Morse. Voici ce que dit le *Cosmos* à leur égard dans le numéro du 20 mars 1857 :

« Dans le premier de ces manipulateurs, chaque touche portant une lettre fait partie d'une tige verticale en acier faisant fonction de camme, c'est-à-dire portant sur toute sa longueur des reliefs ou dents longues et courtes représentant exactement, par leurs longueurs et leur nombre, la lettre correspondante; de telle sorte qu'en faisant descendre la tige par une pression exercée sur la touche, on détermine le nombre de contacts ou de fermetures du circuit avec les durées convenables nécessaires à l'impression par le récepteur de la lettre dont il s'agit. Il n'est besoin ici d'aucune force motrice étrangère, la pression du doigt produit l'effort suffisant, et la réaction d'un ressort tendu par la pression ramène la tige à sa position normale. M. Joly avait fait à ce manipulateur très-élégant une addition importante dont tôt ou tard on sentira la nécessité; chaque tige, en s'abaissant, faisait avancer d'une division l'aiguille d'un compteur arithmétique pouvant marquer les dizaines, les unités, les centaines, les mille, voire même les dizaines de mille, de sorte qu'à la fin de chaque journée on connaissait, en lisant sur ce compteur, le nombre des lettres transmises. En comparant ce nombre à celui qu'annonçait l'ensemble des bulletins de dépêches, on s'assurait qu'aucune infidélité n'avait été commise, qu'aucune correspondance de contrebande n'avait été échangée.

« Mais en raison même de sa complexité utile et du travail qu'exigeaient la taille à la main des tiges d'acier, leur ajustement mécanique, etc., etc., ce manipulateur eût coûté assez cher, 200 ou 300 francs peut-être. M. Joly a donc dû en imaginer un autre accessible à toutes les bourses, et qui

coûtât à peine plus cher que la clef ordinaire ; il y est parvenu en écrivant les lettres de l'alphabet Morse sur un cylindre de bois dur, en cuivre galvanoplastiqué ou en fonte, à l'aide de reliefs longs et courts correspondant aux traits qui composent les lettres. Les trente signaux primitifs sont ainsi distribués sur des cercles concentriques perpendiculaires à l'axe du cylindre, absolument comme un air est écrit en relief sur le cylindre des orgues de Barbarie ou des boîtes à musique ; des tiges verticales en cuivre uni, en nombre égal au nombre des signaux, sont, comme dans le premier appareil, terminées par des touches sur lesquelles les lettres ou les signaux sont écrits ou représentés en caractères ou en signes très-visibles formant clavier. On fait tourner incessamment, à l'aide d'une manivelle mue à la main ou par un mouvement d'horlogerie, le cylindre du manipulateur divisé en deux moitiés sur sa circonférence par une ligne ou rainure longitudinale parallèle à l'axe faisant séparation entre le commencement et la fin de toutes les lettres ou de tous les signaux. Si alors on presse sur l'une des touches, elle pénétrera dans la rainure au moment où cette rainure se présentera au-dessous d'elle, et le mouvement de rotation continuant, elle suivra tous les reliefs qui sur le cylindre dessinent la lettre ou le signal dont il s'agit. Ses dépressions et ses élévations successives détermineront des contacts de même durée qui, sur le récepteur, seront transformés en traits longs et courts dessinant la lettre ou le signal à transmettre. Le premier tour du cylindre achevé, on pourra presser sur une seconde touche pour transmettre un second signal et ainsi de suite. Il n'y a pas d'erreur possible parce qu'on ne peut abaisser à la fois qu'une seule touche, et le nombre des signaux transmis par seconde pourra être égal au nombre des tours du cylindre qu'on peut faire tourner très-vite. L'expérience a prouvé que la vitesse de ce manipulateur pouvait même dépasser la vitesse possible du récepteur actuel. »

M. Regnard a aussi imaginé en 1855 un manipulateur du même genre que celui que nous venons de décrire et qu'il a appelé transmetteur à cylindre, mais je doute que ses fonctions soient plus simples que celles des appareils primitifs. Quoi qu'il en soit, voici en quelques mots en quoi il consiste.

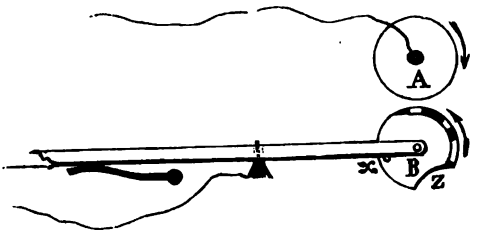


Fig. 29.

Un clavier composé de 26 touches horizontales basculant comme les touches d'un piano, est placé sous un cylindre métallique A, fig. 29 ci-dessus, mis en rapport avec le fil de ligne et animé lui-même au moyen d'un mécanisme d'horlogerie d'un mouvement de rotation continu. Chaque touche est terminée par un disque de cuivre B, sur la circonférence duquel sont entaillées plusiers coches de manière à produire une sorte de relief plus ou moins large, représentant un des signaux de l'alphabet Morse. Les intervalles de ces reliefs sont garnis d'ivoire, et les disques eux-mêmes sont ramenés à une position initiale fixe par un ressort spiral. Tous ces disques sont placés au-dessous du cylindre métallique tournant de telle sorte que, quand on abaisse l'une des touches, mises d'ailleurs en rapport avec le circuit, on met le disque correspondant en contact avec le cylindre. Comme celui-ci se trouve animé d'un mouvement de rotation pendant lequel les parties alternativement cuivre et ivoire, se présentent tour à tour au point de tangence, il en résulte des fermetures de

courant plus ou moins longues, plus ou moins multipliées, qui déterminent sur le récepteur les traits et les points, en rapport avec telle ou telle lettre de l'alphabet. Quand le signal est terminé, le disque présente au cylindre une échancrure Z qui l'empêche de tourner davantage, et quand on relève la touche, le ressort spiral le ramène immédiatement à sa position initiale.

Comme il importe que le circuit de la ligne soit fermé en temps de repos du manipulateur à travers le récepteur de la station, qui doit toujours être prêt à recevoir les signaux des postes éloignés, il importe de disposer le manipulateur pour produire lui-même cet effet, et pour cela M. Regnard adapte à l'appareil précédent une tringle qui traverse le clavier dans toute sa longueur, et qui opère naturellement les fermetures du circuit quand toutes les touches sont soulevées.

M. Regnard croit qu'en combinant deux à deux ou trois à trois les différents signaux de l'alphabet Morse, et cela en frappant ensemble des touches correspondantes comme on frappe les accords sur le piano, on pourrait simplifier considérablement le manipulateur précédent, et réduire à 12 ou 13 le nombre des touches nécessaires pour l'alphabet Morse.

J'ai combattu, dans mon *Exposé des applications de l'électricité,* les manipulateurs des télégraphes écrivants dans lesquels la dépêche était composée d'avance, parce qu'avec l'habitude qu'ont acquise les télégraphistes du maniement de la clef de Morse, il me semblait qu'on ne devait rien gagner à ce système pour la célérité de la transmission des dépêches; cependant, sur certaines lignes encombrées ce système peut avoir des avantages, car, pendant que l'un des employés reçoit une dépêche, un autre peut en composer d'avance une ou plusieurs autres qui ne demandent plus, pour être transmises, qu'à passer dans l'instrument. Il n'y a plus alors aucun temps de perdu, et l'on a dans la dépêche reçue une plus grande

correction. Nous croyons donc qu'il ne sera pas inutile de décrire ici l'appareil de M. Paul Garnier et celui qu'ont établi dernièrement MM. Mouilleron et Guérin.

Ce dernier appareil est représenté fig. 14, pl. I; il se compose d'une espèce de rainure à ressort AB dans laquelle on introduit le composteur, et au centre de laquelle tourne une petite roue en rapport avec une manivelle. Le composteur étant muni par-dessous d'une crémaillère se trouve mis en mouvement par la roue, et un ressort R, qui appuie sur les caractères du composteur, fournit les fermetures et interruptions de courant nécessaires pour la transmission de la dépêche. Si un seul composteur ne suffit pas, on en place successivement deux, trois, quatre, à la suite les uns des autres sans que la dépêche soit interrompue. Comme complément à leur appareil, MM. Mouilleron et Guérin lui ont ajouté un système récepteur excessivement simple, fondé sur le principe des télégraphes électro-chimiques et qui fonctionne sans mouvement d'horlogerie sous l'influence seule de la rotation de la manivelle du mécanisme transmetteur. Avec cet appareil et un système organisé pour les transmissions simultanées, en sens contraire, on peut donc envoyer et recevoir une dépêche sans avoir à s'occuper de deux instruments. On peut aussi utiliser ce récepteur à contrôler la dépêche que l'on envoie.

Dans la figure 14, pl. I, ce récepteur est représenté en XY; T et S sont les deux cylindres du laminoir destinés à entraîner la bande de papier, U est le ressort en fer destiné à réagir sur le papier chimique. On comprend facilement qu'un pareil système est beaucoup plus économique que les télégraphes Morse ordinaires.

Le transmetteur de M. Paul Garnier, représenté fig. 6, pl. I, se fait remarquer par la facilité et la promptitude de sa manœuvre. Dans cet appareil, qui est, du reste, fondé sur le même principe que celui de Morse, le tambour composteur, tout en tournant, avance parallèlement à son axe, de

telle sorte que le ressort appelé à frotter sur les caractères dont il est muni décrit une hélice dont le pas est d'environ 2 centimètres. Or, c'est sur cette hélice que sont groupées les parties métalliques qui doivent fournir les combinaisons de courant appelées à transmettre la dépêche. Pour obtenir d'une manière prompte et facile la composition de ces combinaisons, M. Paul Garnier a découpé sur tout le parcours de l'hélice en question une série de petites rainures transversales *a*, *b*, *c*, *d*, figure 32 ci-dessous, échelonnées les unes à

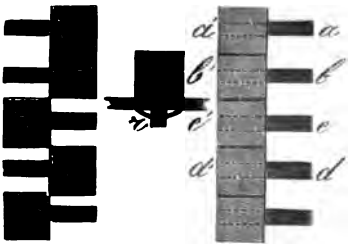


Fig. 30. Fig. 31. Fig. 32.

la suite des autres, et dans chacune desquelles se trouve adapté un petit prisme métallique *a'*, *b'*, *c'*, etc., susceptible d'être déplacé d'un bout à l'autre de cette rainure. A cet effet, ce petit prisme, plus fort dans sa partie supérieure que la rainure, se trouve évidé à sa partie inférieure, de manière à pouvoir circuler aisément à travers celle-ci, et porte un ressort arqué *r*, figure 31, qui, en s'appuyant contre la paroi intérieure du tambour, le maintient à frottement dur en tel point de la rainure qu'on le désire. Ces petits prismes se touchent tous, de telle sorte que, quand ils sont repoussés d'un même côté, ils constituent sur le tambour un véritable filet de vis, parfaitement continu, d'une hauteur uniforme, qui, étant placé sous le frotteur de l'appareil, fournirait une fermeture prolongée du courant, et, par suite, une ligne continue au ré-

cepteur. Toutefois, ce filet de vis, par les éléments mêmes de sa constitution, pouvant se trouver interrompu de mille manières différentes, suivant que les petits prismes sont repoussés de côté de deux en deux, de trois en trois, ou de trois en deux, etc., il devient possible de lui faire fournir toutes les combinaisons voulues pour la composition télégraphique d'une dépêche. En effet, en laissant deux petits prismes l'un à côté de l'autre, comme dans la figure 30, on pourra avoir le *trait long* de l'alphabet Morse, tandis que le petit prisme isolé représentera le *point* du même alphabet; de même, trois petits prismes contigus l'un à l'autre étant repoussés à la fois représenteront l'intervalle des mots, alors que deux représenteront l'intervalle des lettres, et un seul l'intervalle des éléments des signaux. Or, comme chaque cylindre présente un développement de 6 mètres environ de longueur d'hélice, il peut transmettre à lui seul une dépêche déjà assez longue qui peut encore être continuée sur plusieurs autres cylindres pendant le temps de la transmission. La substitution d'un appareil à l'autre n'offre d'ailleurs aucune difficulté, car chaque cylindre porte avec lui son axe et la vis qui doit le faire mouvoir; de sorte qu'il suffit de le poser simplement par son axe sur deux coussinets appartenant à l'appareil moteur pour qu'il soit mis immédiatement en action.

Nous ne décrirons pas ici avec détails le mécanisme moteur de cet appareil qui d'ailleurs se devine aisément, et qui est analogue, sauf quelques perfectionnements mécaniques que M. Paul Garnier sait toujours apporter aux appareils qu'il construit, à ceux dont nous avons déjà parlé; nous dirons seulement que la manière dont M. Garnier est parvenu à rendre la construction des diverses parties de son transmetteur facile et précise montre la différence qui existe entre une invention rendue pratique et une simple conception.

Les avantages du transmetteur de M. Paul Garnier sur les

autres transmetteurs du même genre sont faciles à saisir. En effet, avec ce système, les signaux et les éléments de signaux n'ont pas besoin d'être déplacés, d'être triés et d'être assemblés, trois opérations qui exigent un certain temps et un étalage de matériel très-incommode; chaque cylindre porte ses éléments de composition télégraphique, et un simple petit bâton d'une largeur double de son épaisseur suffit pour produire immédiatement toutes les combinaisons voulues.

La priorité de cette invention a été contestée à M. Paul Garnier par M. Marqfoy et a été l'occasion d'un procès récemment jugé; mais, bien que le tribunal, pour les mettre d'accord, les ait associés l'un à l'autre, je ne vois réellement pas en quoi pouvait être fondée cette contestation, puisque toute l'invention de M. Paul Garnier, dans cet appareil, ne consiste que dans l'emploi de certains moyens de composition des dépêches qui ne sont pas ceux de M. Marqfoy, et que l'appareil lui-même ne présente, en somme, rien de nouveau. Or, dans de pareilles inventions, ce sont les perfectionnements de détails qui doivent être pris seulement en considération.

Voici, du reste, la légende explicative de la figure 6, pl. I, qui représente l'élévation de ce transmetteur, et de la fig. 33, page 213, qui représente le frotteur conjoncteur qui, étant placé en arrière du cylindre, ne se distingue pas dans la figure 6, pl. I.

LÉGENDE DE LA FIGURE 6, PL. I.

A, cylindre transmetteur, portant la vis V;

B, écrou à filet de vis intérieur, reposant dans la fourchette du support C et y demeurant fixé;

C, support ou montant en laiton;

D, deuxième montant de l'appareil;

E, douille cylindrique tournant à travers les deux platines DD, et portant un tenon entrant dans l'entaille longitudinale L;

G, disque embrayeur, avec cliquet, etc.;

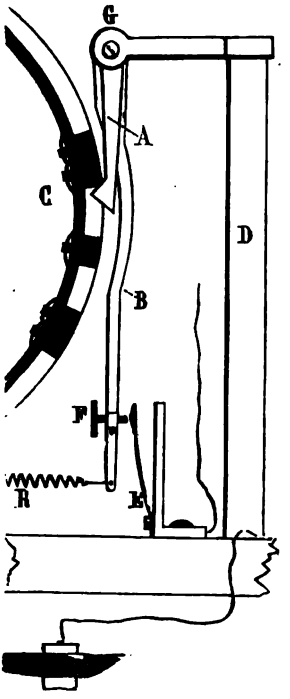


Fig. 33.

H, roue folle sur la douille E, et pouvant être mise en mouvement par l'embrayeur G;

I, poulie supportant le poids moteur et fixée sur la douille E;

J, pignon engrenant avec la roue H et communiquant son mouvement à un volant à ailettes par l'intermédiaire d'une roue engrenant avec une vis sans fin;

K, volant à ailettes;

V V′, axe à vis du cylindre A, engagé du côté gauche dans l'écrou B, de l'autre dans la douille E; de ce dernier côté, l'axe V V′ ne porte pas de filet de vis, mais se trouve entaillé de manière à présenter une rainure longitudinale L.

LÉGENDE DE LA FIGURE 33.

A, frotteur articulé en G, et appuyant contre le cylindre transmetteur;

B, levier monté sur le même axe que le frotteur A, et oscillant avec lui;

C, cylindre transmetteur;

D, support métallique du frotteur A et du levier B en communication avec le fil de terre;

E, ressort mis en rapport avec le fil de ligne, et contre lequel vient battre le levier B à chaque oscillation par l'intermédiaire d'une vis F. C'est ce contact qui produit les fermetures de courant appelées à réagir sur les appareils télégraphiques;

R, ressort de rappel pour appuyer le frotteur A contre le cylindre C et les types qu'il lui présente.

Nous allons maintenant parler d'un autre système de manipulateur de M. Baggs, qui, s'il n'est pas un progrès réalisé, montre du moins que si la France et le Piémont ont leurs hâbleurs en fait de découvertes, l'Angleterre ne reste pas en arrière. On a peine à comprendre comment, dans un pays où les inventions de toutes sortes sont si connues et si appréciées, on trouve, en 1857, dans les colonnes d'un journal anglais, ce qui suit :

« On s'occupe beaucoup en Angleterre d'un nouveau système de transmission électrique inventé par M. Baggs, et au moyen duquel il serait possible, suivant l'auteur, de trans-

crire douze colonnes du *Times* en moins d'une heure. L'inventeur a été amené à cette découverte par ses réflexions sur la lenteur de la télégraphie électrique actuelle. Le mot *lenteur* peut paraître paradoxal lorsqu'il s'agit d'une puissance capable de franchir 310 millions de mètres par seconde. Aussi n'est-ce pas à l'électricité que s'en prend M. Baggs, mais à l'association maladroite, selon lui, du travail qu'effectue lentement l'employé chargé de la transmission avec l'instantanéité du fluide. C'est un excellent domestique, prompt comme la pensée, commandé par un maître d'une lenteur extrême, qui met mille fois plus de temps à formuler ses ordres que son serviteur ne met à les exécuter. »

Or, savez-vous quel moyen propose M. Baggs pour remédier à cet inconvénient?... C'est de piquer sur des feuilles de gutta-percha de petites épingles de cuivre dont la succession deux par deux, une par une, pourrait fournir les groupements métalliques nécessaires à la reproduction des signaux Morse. Ces feuilles de gutta-percha seraient ensuite enroulées en provision sur des cylindres de cuivre avec lesquels communiqueraient les épingles, et ces cylindres, placés dans une machine munie de frotteurs et de vis, seraient mis en mouvement par une machine à vapeur qui opérerait en peu d'instants le déroulement complet de la feuille de gutta-percha, quelque longue qu'elle puisse être.

Cette magnifique invention n'est-elle pas, en définitive, quant à son principe, que le germe imparfait des manipulateurs que nous avons étudiés précédemment, plus l'idée de la machine à vapeur, qui est cette fois par trop drôle, et qui montre que M. Baggs n'a aucune connaissance des lois de la transmission de l'aimantation? S'il eût connu ces lois, il aurait pu se convaincre qu'avec une pareille vitesse de déroulement les 3/4 ou les 4/5 des signaux manqueraient faute de temps, pour que la force antagoniste fasse son effet, et faute de force, à cause de la durée trop minime de l'aimantation.

M. Bréguet a encore proposé de composer les dépêches en collant sur une bande de papier les différents signaux de l'alphabet Morse, imprimés séparément et en provision sur de petits morceaux de papier avec un mordant rendu métallique par les procédés de la chromo-lithographie. Ces impressions, étant continuées dans le sens de la largeur du papier, donnent la facilité d'adapter deux styles au transmetteur et d'opérer la fermeture du courant, non plus par un contact seul avec les parties conductrices des signaux composés, mais par le contact simultané de deux pièces métalliques, faisant partie d'un circuit interrompu, avec un conducteur métallique. Des essais ont été faits avec ce système, et ils ont, à ce qu'il paraît, très-bien réussi. Bien plus, même, il paraîtrait que pour composer les dépêches on aurait mis moitié moins de temps que pour les transmettre directement au moyen de la clef, attendu que les morceaux de papier sur lesquels se trouvent imprimés les signaux se collent comme des timbres-poste.

MM. Rizet, Minié et autres ont également cherché à perfectionner le manipulateur Morse, mais les moyens qu'ils ont employés sont plus ou moins compliqués et ne présentent réellement pas d'avantages sérieux. Ainsi M. Rizet reproduit les fermetures de courant longues et courtes en rapport avec chaque lettre de l'alphabet au moyen d'une gorge sinueuse dans laquelle glisse un galet adapté à un levier-bascule, comme dans les manipulateurs Bréguet; cette gorge, dont les sinuosités se trouvent par cela même forcément irrégulières, est pratiquée dans une règle de cuivre qui glisse longitudinalement, et chaque lettre exige une règle particulière. Pour que la transmission puisse se faire le plus vite possible, l'inventeur dispose ces règles sur trois lignes en gradins, de telle manière que tous les mouvements produits par les leviers-bascules correspondant à ces règles viennent converger à un levier central, qui constitue alors le véritable interrup-

teur. Chaque règle ainsi étagée correspond à une touche qui, étant abaissée, rend libre le mécanisme d'horlogerie destiné à l'entraîner; de telle sorte qu'il suffit d'appuyer le doigt sur telle ou telle touche pour faire passer telle ou telle lettre qu'on veut transmettre.

En outre des manipulateurs et transmetteurs dont nous avons parlé, on a cherché à construire d'autres appareils en vue de vérifier l'exacte transmission des dépêches. Voici, à ce sujet, ce qu'écrivait au journal *la Science* M. D'Orville, employé au poste central :

« On s'assure ordinairement de l'exactitude de la transmission en répétant sur le manipulateur de la station d'arrivée la dépêche transmise par la station de départ. Ce moyen de vérification est défectueux, en ce qu'il peut donner lieu aux mêmes erreurs que celles qu'on peut avoir commises dans une première transmission.

« Un mécanisme fort simple permet de lire au départ même, sur la bande de papier du récepteur, le résultat de la manipulation.

« Il consiste en deux arrêts supplémentaires placés sur la planche du manipulateur, et pouvant être réunis au moyen d'une petite lame conductrice faisant ressort. La lame se trouve au-dessous du bouton de la poignée, et une tige en ivoire fixée à ce bouton vient presser sur la lame qui réunit les deux arrêts.

« Quand le manipulateur ne fonctionne pas, il n'y a point de contact entre la lame et l'arrêt postérieur.

« Deux fils, dont l'un communique avec le fil de l'électro-aimant du récepteur et l'un des pôles de la pile locale, le second avec l'autre pôle de la pile locale viennent, en suivant le dessous de la planche du manipulateur, aboutir aux deux arrêts supplémentaires, en passant par deux boutons disposés à cet effet sur le côté de l'appareil. De cette manière, en agissant sur la poignée, on ferme le circuit de

la pile locale, par suite du contact entre les deux arrêts au moyen de la lame; et l'on ferme en même temps le circuit de la ligne. Le courant de la pile locale agit, pendant son passage dans les circonvolutions du fil des électro-aimants du récepteur, sur l'armature et sur le levier, en produisant un point ou une ligne sur le ruban de papier de l'appareil récepteur de l'employé qui manipule, suivant que ce dernier envoie un point ou une ligne. La dépêche se trouve de cette façon enregistrée tant à la station de départ qu'à la station d'arrivée.

« L'essai de ce moyen de vérifier la manipulation a pleinement réussi au poste central de Paris. »

Pour terminer avec les manipulateurs, nous mentionnerons, seulement à titre de simple renseignement, une machine, d'ailleurs assez compliquée, imaginée par M. Humaston pour découper dans une bande de papier une dépêche à expédier dans le langage Morse, cette bande devant servir, en passant sur un cylindre dans le genre de celui du télégraphe Bain, à produire les fermetures et ouvertures de courant suivant les découpures. Cette machine emploie les mains et les pieds de l'opérateur: les mains, pour faire agir un clavier, les pieds, pour abaisser en temps opportun deux pédales; le tout pour assembler les poinçons d'abord, pour les amener en position ensuite, puis pour amener le papier, et enfin pour percer ce papier en pressant sur les poinçons.

TÉLÉGRAPHES A AIGUILLES ET A CADRAN.

Perfectionnements apportés aux télégraphes à aiguilles de M. Gloesener. — Je me suis longuement étendu, dans mon *Exposé des applications de l'électricité,* sur les perfectionnements remarquables que M. Gloesener avait apportés aux télégraphes à aiguilles en les rendant beaucoup plus sensibles par l'adjonction au récepteur d'électro-aimants réagissant

conjointement avec les multiplicateurs sur le barreau aimanté appelé à faire mouvoir l'aiguille indicatrice. Depuis la publication de mon ouvrage, M. Gloesener a combiné de nouveaux perfectionnements qui ont produit les résultats les plus satisfaisants. Bien que ce genre de télégraphes ait été généralement abandonné depuis l'adoption définitive des télégraphes Morse, nous croyons néanmoins utile de revenir sur cette question, car si les télégraphes écrivants présentent de nombreux avantages, les télégraphes à aiguilles réunissent plusieurs qualités précieuses qui leur sont propres et qui les rendent avantageux dans certains cas. Voici ces qualités telles que les énumère M. Gloesener lui-même :

« 1° La manipulation en est très-facile et fort simple ;

2° Ils sont toujours prêts à fonctionner ;

3° Les organes dont ils se composent sont très-simples, solides et en petit nombre ; aussi se dérangent-ils très-rarement ;

4° Le courant de la station qui transmet passe à la fois dans l'appareil de cette station et dans celui de la station qui reçoit, et, si un signal est mal compris, le correspondant peut interrompre la transmission de la dépêche en inclinant simplement la manivelle de son manipulateur. Il avertit ainsi le stationnaire qu'il n'a pas compris, sans perte de temps sensible et sans que les deux appareils cessent d'être d'accord. En un mot, les correspondants conservent toujours une action directe l'un sur l'autre ;

5° Les signaux sont indépendants les uns des autres, comme ceux des télégraphes à écrire. Lorsque le stationnaire se trompe de lettre, cette erreur n'a aucune influence sur la lettre ou les lettres qui suivent ;

6° Ils fonctionnent avec des courants sensiblement plus faibles que tous les autres systèmes de télégraphes. C'est là un point important, car, en diminuant la force des courants, on affaiblit aussi proportionnellement la polarisation, l'oxydation

des parties métalliques fixes et mobiles en contact et l'intensité du courant appelé *courant de retour,* qui se développe dans des fils conducteurs très-longs. On atténue ou on évite les dérivations des courants. L'avantage de télégraphier avec des courants faibles se fait surtout vivement sentir lorsque les fils de ligne sont mal isolés. Ceux-ci, en effet, peuvent conduire suffisamment bien des courants faibles, tandis que, pour des courants un peu intenses, les pertes par dérivation rendraient la transmission impossible. »

L'un des grands inconvénients des télégraphes à aiguilles fondés sur le principe des télégraphes anglais, est l'altération fréquente que subissent les barreaux aimantés, par suite de l'action directe exercée sur eux par le multiplicateur. Cet inconvénient, bien qu'en partie conjuré dans le premier appareil de M. Gloesener (que nous avons décrit page 30 de notre 2e volume) par la réaction polaire exercée sur les pôles des barreaux par les pôles de l'électro-aimant supplémentaire, n'a pas paru à l'auteur suffisamment détruit et, pour obtenir ce résultat, ce savant s'est décidé à supprimer complétement le multiplicateur lui-même. Mais comment donner à l'appareil une sensibilité assez grande sans mettre l'électro-aimant, commandant dès lors le jeu des barreaux, dans de mauvaises conditions d'action ?... Tel est le problème que M. Gloesener a résolu, de la manière la plus ingénieuse, dans son nouvel appareil, en plaçant en croix sur le barreau aimanté un second barreau de même longueur et de même force. De cette manière, en effet, chaque barreau présentant devant chaque pôle de l'électro-aimant un pôle magnétique concordant, avec un rapprochement aussi grand qu'on pouvait le désirer, la réaction électro-magnétique pouvait être portée à son maximum, malgré l'écartement des branches de l'électro-aimant et sans qu'aucune influence contraire pût être exercée. Avec cette disposition, l'action exercée est infiniment plus énergique, et les barreaux

aimantés, sans cesse dans le voisinage des pôles de l'électro-aimant, ne courent aucun risque d'être désaimantés.

La figure 8, pl. I, représente le nouveau système de M. Gloesener réduit à une seule aiguille. AA est l'électro-aimant substitué au multiplicateur. Il peut être avancé ou reculé sur la table C, au moyen de la vis de rappel B ; il peut même être poussé à gauche ou à droite au moyen de la patte I. M est le système des deux barreaux en croix montés sur l'axe horizontal portant l'aiguille indicatrice. Un petit bouton placé extérieurement sur le cadran permet même, au moyen d'une petite lame de ressort appuyant contre une cheville placée sur cet axe, de faire varier la force antagoniste destinée à ramener ce système, et par suite l'aiguille indicatrice dans sa position verticale, en cas de collage, contre l'une des chevilles d'arrêt. Pour obtenir cet effet, le bouton est susceptible de deux mouvements : l'un de rotation sur son axe, l'autre d'ascension de bas en haut. Le premier mouvement a pour effet de renverser à gauche ou à droite le ressort de rappel ; le second, en appliquant ce ressort sur la cheville, plus ou moins près de l'axe du système, diminue ou augmente la puissance antagoniste. La substitution de ce bouton à ressort au contre-poids employé dans les autres appareils paraît être une heureuse innovation.

Le manipulateur représenté en L se rapproche beaucoup plus de celui des télégraphes anglais, que celui adopté primitivement par M. Gloesener ; la manivelle adaptée à l'axe D est rappelée à une position fixe par deux forts ressorts à boudin SS, qui transmettent en même temps à l'appendice Q, auquel ils sont attachés, le courant négatif de la pile ; le support R transmet le courant positif à l'axe D, et de là à l'appendice O. Or, suivant qu'on tourne la manivelle à gauche ou à droite, on transmet le courant alternativement aux lames TT′, UU′, et, d'après les communications électriques indiquées sur la figure, on voit que ce courant se trouve di-

rigé, à travers les appareils indicateurs, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, quand toutefois le commutateur X établit une communication directe entre l'électro-aimant A et le ressort T. Ce commutateur, qui se manœuvre du dehors au moyen d'une clef, laquelle a pour effet de faire pivoter la lame de ressort *a*, peut mettre en communication le fil de ligne soit avec le récepteur M, soit avec une boussole électro-magnétique Z, dont nous verrons à l'instant l'usage.

Dans les appareils de M. Gloesener à deux aiguilles, une seule des aiguilles possède le système des barreaux aimantés disposés en croix, l'autre est à simple barreau. Cette disposition différente des deux systèmes a été introduite en raison de la sensibilité extrême de l'appareil précédent qui, dans certaines circonstances, pourrait fonctionner avec des dérivations de courants empruntées aux circuits terrestres d'autres lignes. Dans ce cas, il importe, en effet, d'avoir à sa disposition un appareil moins sensible; et comme un télégraphe à deux aiguilles peut facilement fonctionner avec une seule aiguille, on en est quitte alors pour user seulement de l'appareil à un seul barreau aimanté. Du reste, les autres parties de cette seconde moitié du télégraphe sont identiquement les mêmes que celles que nous avons représentées fig. 8, pl. I.

Arrivons maintenant à la boussole électro-magnétique Z, dont nous avons annoncé déjà l'importance. En France, lorsque deux stations extrêmes veulent échanger une correspondance sans l'intervention des stations intermédiaires, on convient, comme nous l'avons dit dans notre troisième volume, d'un certain temps de silence pendant lequel la communication directe est établie par les stations intermédiaires, et qui est jugé pouvoir suffire à la transmission de la dépêche qu'on envoie. En Angleterre, tous les appareils échelonnés le long d'une ligne reproduisent la même dépêche, de sorte qu'il n'y a plus de dépêches se-

crètes. Ces deux systèmes sont, comme on le comprend, vicieux et nous avons vu qu'on avait cherché à organiser plusieurs systèmes silencieux plus ou moins ingénieux, pour suppléer aux inconvénients que nous venons de signaler. Or, c'est pour arriver à un but analogue, que M. Gloesener a muni son appareil d'une boussole électro-magnétique. Cette boussole n'est, d'ailleurs, rien autre chose que le système électro-magnétique de l'appareil lui-même, sauf qu'au lieu de deux barreaux aimantés posés en croix, ce sont deux barreaux de fer doux disposés de la même manière; seulement, l'électro-aimant de cette boussole, au lieu d'être en rapport avec un seul circuit, communique avec les deux à la fois. Il en résulte que toutes les fois que l'un ou l'autre des deux appareils fonctionne d'une station extrême à une station extrême, les boussoles des stations intermédiaires indiquent, par le mouvement de leur aiguille, le temps exact pendant lequel dure la transmission. Aussitôt, en effet, que ces boussoles reviennent au repos, on est prévenu par là que la conversation est terminée (entre les stations extrêmes), et immédiatement on peut placer le commutateur X de manière à établir la correspondance directe. Dès lors, l'échange de la correspondance devient facile entre les stations intermédiaires et les stations extrêmes.

Télégraphe magnéto-électrique à cadran de MM. Siemens et Halske. — Comme MM. Henley et Lippens, dont nous avons parlé (pages 36 et 69, 2e volume de notre *Exposé*), MM. Siemens et Halske ont voulu aussi avoir leur système de télégraphe magnéto-électrique à cadran, marchant sous l'influence de courants induits, produits par le fait seul de la transmission télégraphique. Ce système a produit, paraît-il, de très-bons résultats, et, s'il faut en croire le *Cosmos*, on serait arrivé, en l'employant, à télégraphier à des distances de 4000 kilomètres, sans relais ni translateurs. Son seul inconvénient, suivant les rapports anglais, serait la lenteur de

ses transmissions, lenteur due à sa marche, *step by step* (pas à pas) ou par saccades.

La pièce essentielle du récepteur est un système électro-magnétique analogue à celui du père Cecchi, que nous avons représenté page 217 (*Étude du magnétisme*), et qui se compose d'un électro-aimant droit mobile, entre deux aimants fixes, en fer à cheval; seulement cet électro-aimant porte une palette d'échappement qui, pour chaque oscillation accomplie de gauche à droite ou de droite à gauche, fait sauter d'un cran une roue d'échappement et par suite une aiguille indicatrice qui se meut devant un cadran ordinaire. Le manipulateur comme celui de M. Henley se compose de plusieurs aimants permanents dont les pôles font face à une armature commune formée d'un noyau de fer doux, entouré d'un fil de cuivre isolé, et tournant autour d'un axe porté par deux supports. Cette armature est mise en mouvement au moyen d'une roue engrenant avec un pignon et d'une manivelle fixée sur un cadran qui porte les mêmes lettres et les mêmes signaux que le cadran du récepteur. A chaque demi-révolution de cette armature il se produit un courant alternativement positif et négatif qui traverse le récepteur et qui réagit comme nous l'avons vu, sur l'aiguille de ce récepteur. Comme les courants positifs correspondent à certaines positions de la manivelle sur le cadran, et que les courants négatifs correspondent à certaines autres positions de cette manivelle, on peut disposer l'engrenage intermédiaire entre la manivelle et l'armature tournante de telle manière que les courants positifs correspondent aux lettres paires, et les courants négatifs aux lettres impaires, et par la rotation de la manivelle on obtient ainsi le nombre d'oscillations et d'échappements en rapport avec la lettre désignée.

Nouveau télégraphe de M. Wheatstone. — Pensant avec raison que dans une machine, plus les mobiles sont petits, moins la force d'inertie est difficile à vaincre et, par consé-

quent, moins il faut de force pour les mettre en mouvement, M. Wheatstone s'est imaginé dernièrement de faire de son télégraphe à cadran un petit instrument de poche marchant sous l'influence d'organes mécaniques aussi minces et aussi ténus que ceux d'une montre. Avec des appareils de cette espèce, le courant de ligne peut résulter d'une petite machine d'induction susceptible d'être contenue dans une tabatière, à la condition toutefois que cette petite machine soit animée par le courant de la pile locale; car comme M. Siemens, M. Wheatstone préfère ce mode de production des courants induits à celui des machines magnéto-électriques; d'ailleurs, malgré les dispositions microscopiques de ses appareils, il ne faut rien moins que l'énergie d'un faisceau magnétisé par la pile, pour obtenir des courants suffisamment énergiques, pour vaincre la résistance d'une ligne d'une certaine longueur. C'est en faisant allusion à ce système, que M. Faraday a dit que le nouveau télégraphe de M. Wheatstone était aux télégraphes ordinaires ce que les chronomètres sont à de simples coucous.

Nouveau télégraphe magnéto-électrique de M. Lippens. — M. Lippens vient de construire un nouveau modèle de télégraphe magnéto-électrique à cadran, réunissant quelques-unes des dispositions indiquées par M. Gloesener, entre autres celles au moyen desquelles l'armature, qui est alors aimantée, n'a plus de ressort antagoniste. Cet appareil est contenu dans une boîte facile à transporter; il suffit, pour le monter ou le démonter, de visser ou de dévisser cinq boutons d'accès facile; l'ouvrier le plus ordinaire, le plus étranger à la télégraphie peut l'installer ou le remplacer, transmettre des dépêches, etc. Un seul appareil et une seule sonnerie suffisent pour correspondre dans deux ou trois directions. Les relais indiquent immédiatement de quel côté vient la dépêche, et toute confusion est impossible. La vitesse de transmission est de huit à dix mots par minute, ce

qui suffit à tous les besoins. Le manipulateur agit non par frottement, mais par contacts martelés. On n'a donc plus de grippement à redouter ni d'huile à verser dans l'appareil qu'elle finit par obstruer. La marche de l'aiguille sur le récepteur est régularisée et assurée par un mouvement d'horlogerie. La sonnerie ordinaire à échappement, trop disposée à se déranger, est remplacée par un trembleur à vibrations rapides, distinctes, très-certaines, indépendantes du sens du courant, et réglées à volonté par la pose d'un bouton.

Perfectionnement apporté aux télégraphes à cadran par MM. Gossin et Mouilleron. — Nous avons décrit longuement, dans le deuxième volume de notre *Exposé,* les télégraphes à cadran employés dans les chemins de fer. On a vu que les fermetures et ouvertures du courant s'effectuaient sur le manipulateur au moyen d'un levier muni d'un ressort oscillant entre deux pointes de vis. Ordinairement le mouvement de ce levier entre ces deux pointes de vis est d'environ un centimètre, sans comprendre la flexion de la lame de ressort du levier contre les vis, qui est d'environ un millimètre de chaque côté. Si l'on réfléchit que le courant n'est fermé qu'au moment du contact du levier contre l'une de ces vis, on arrive à conclure qu'avec cette disposition, le courant se trouve beaucoup plus longtemps ouvert que fermé, et par conséquent qu'on ne profite pas de toute l'aimantation susceptible d'être développée par ce courant. Or si, sans rien changer au mécanisme précédent, on rapproche seulement les deux têtes de vis à 3 millimètres l'une de l'autre, les conditions changent immédiatement : le ressort interrupteur se replie sur les vis de 6 millimètres de chaque côté au lieu de 1, et les temps de fermeture du courant sont doubles des temps d'ouverture. Par suite, les aimantations ont six fois plus de temps pour se développer lors de la transmission électrique, et l'on peut faire marcher le télégraphe avec une force électrique plus de moitié moindre. Il faut, par

exemple, avec cette nouvelle disposition, que le ressort antagoniste du récepteur soit un peu plus serré, précisément en raison de l'accroissement de la force magnétique et du magnétisme rémanent qui est d'autant plus considérable que les durées de fermeture du courant sont plus longues.

Les expériences que MM. Gossin et Mouilleron ont faites dernièrement avec un télégraphe ainsi monté ne peuvent pas laisser de doute à cet égard.

Comme le ploiement du ressort de l'interrupteur pourrait rendre la manœuvre du manipulateur plus difficile, il faut avoir soin de l'amincir jusqu'à ce que la résistance soit rendue à peu près la même que celle qui se manifeste dans les appareils ordinaires.

En outre des avantages que nous venons de signaler, ce système de règlement par les vis de l'interrupteur en fournit un autre non moins important, celui de pouvoir transmettre indistinctement avec de forts ou de faibles courants.

Perfectionnements apportés au télégraphe à cadran par MM. Digney. — Pour rendre la manœuvre des télégraphes Breguet plus facile et plus sûre, MM. Digney ont eu l'idée de réduire de moitié le nombre des mouvements du levier interrupteur dans le manipulateur et d'utiliser pour la fermeture du courant les deux vis butoirs entre lesquelles oscille ce levier. Par suite de ce changement, MM. Digney ont été forcés d'adapter à ce levier un troisième contact pour correspondre à la communication directe au moment où le manipulateur est ramené à la croix. Or ce troisième contact, constitué par un galet affleurant la surface de la planche-support, a été placé entre les deux vis-butoirs, précisément au-dessous de ce levier interrupteur, et a été disposé de manière à être rencontré par lui au milieu de son oscillation, c'est-à-dire au moment où le manipulateur doit fournir pour les lettres paires une interruption de courant. Pour réduire de moitié les mouvements de ce levier, MM. Digney ont

réduit à 7 au lieu de 13 les ondulations de la gorge sinueuse au moyen de laquelle ses mouvements oscillatoires sont produits; cette modification leur a fait gagner sur le cadran deux intervalles qu'ils ont utilisés à la répétition des lettres les plus usitées de l'alphabet, l'E et l'N. Grâce à ce perfectionnement, la manipulation des télégraphes à cadran est d'une douceur extrême et incomparablement plus facile qu'avec les manipulateurs ordinaires.

Télégraphe naval de M. Jacobi. — « Dans ces derniers temps, dit M. Komaroff, on a proposé d'employer les télégraphes électriques pour établir, dans les grands bâtiments à vapeur, une communication entre le tillac ou la cabine du capitaine et le fond de cale, où se trouve la machine.

« Cette intéressante application est bien différente de celle qui a donné lieu à la construction des télégraphes en usage, et qu'on emploie pour transmettre aussi rapidement que possible les dépêches à grandes distances. Les conditions particulières dans le cas actuel sont : visibilité des signaux à une certaine distance; leur indépendance absolue et une sûreté à toute épreuve dans la transmission d'un petit nombre de signaux nécessaires. Le cadran à aiguilles est évidemment praticable, mais le moyen le plus simple serait sans contredit l'emploi d'un certain nombre de tubes remplis d'un acide quelconque, comme Saemmering l'a fait il y a une trentaine d'années; mais les marins ont trouvé que les bulles de gaz sont difficilement visibles à distance; peut-être emploiera-t-on un jour ce système, qui n'exige aucun organe mécanique, et ne demande qu'une pile très-faible.

« Les marins, d'après M. Jacobi, n'ont pas voulu non plus adopter l'emploi d'une simple sonnerie qui, par la combinaison d'un seul son de cloche ou d'un roulement qui se retient facilement par la mémoire, satisfait complétement au but, d'après les expériences de M. Jacobi.

« Une sonnerie et trois aiguilles aimantées, entourées cha-

cune d'un multiplicateur, rempliraient aussi le but proposé, s'il n'y avait pas d'autres inconvénients; les aiguilles ne pourraient évidemment pas être placées horizontalement, et il serait à craindre que le tangage et le roulis du vaisseau affectassent trop la position verticale de l'aiguille.

« S'il y avait moyen de construire une source moins chère qu'une forte batterie magnéto-électrique, ou une batterie sèche assez constante et assez forte pour rendre incandescents des fils minces de platine convenablement placés, ces fils serviraient admirablement pour indiquer les signaux nécessaires. M. Jacobi indique ces nombreux moyens de transmission aux personnes qui s'occupent de la construction d'un télégraphe naval, comme présentant une solution avec le moins d'organes mécaniques possible, et ne demandant pour être activés qu'une très-faible batterie. En attendant le progrès de ce côté, voici le télégraphe électro-magnétique réduit à sa plus grande simplicité, et construit par Jacobi en 1854, et établi en 1855 sur la frégate russe *le Polkan*. Un transmetteur est placé sur le pont; non loin de lui se trouve une sonnerie que l'ingénieur mécanicien met en activité pour signaler sa présence auprès de la machine et pour répondre au signal d'alarme qu'il faut transmettre d'abord pour éveiller son attention. Un récepteur est placé avec sa sonnerie près de la machine, et dans la cabine du capitaine se trouvent deux conjoncteurs, dont l'un correspond à la sonnerie du transmetteur du pont, et l'autre à la sonnerie du récepteur de la machine.

« Les deux conjoncteurs sont destinés à donner des signaux de convention et n'ont rien à faire avec le système principal. Les conjoncteurs du récepteur correspondent tous les deux à la sonnerie du transmetteur du pont, qui est placée de manière à être le plus près possible du mécanicien. La disposition en est telle que l'ingénieur mécanicien n'a pas besoin d'attendre la cessation du signal d'alarme pour y répondre

immédiatement. Six petits électro-aimants donnent six signaux nécessaires au commandement : *petite vitesse*, moyenne, grande, augmente, stop, arrière; ces signaux se montrent dans des ouvertures disposées à cet effet; leur couleur tranche sur le fond noir du compartiment de la boîte; le bouton reste à sa place aussi longtemps que le circuit correspondant est fermé.

« M. Jacobi a préféré aux piles de Bunsen et de Daniell la batterie sèche à sable ou sciure de bois, dont les couples cuivre-zinc sont enfermés dans une boîte à douze compartiments en gutta-percha, de manière à pouvoir se nettoyer avec facilité. Cette batterie présentant une considérable résistance, on a dû enrouler autour des bobines, conformément à la loi connue, les fils minces de cuivre recouverts de soie et trempés dans une solution alcoolique de gomme laque. »

Télégraphe de M. Didier. — Ce système, qui n'a, du reste, rien de nouveau, puisque beaucoup de télégraphes de démonstration employés dans les cours possèdent la même disposition, a pour but de réunir le récepteur et le manipulateur des télégraphes à cadran Bréguet dans un même appareil. Pour cela, le cadran du récepteur Bréguet, au lieu d'avoir 26 divisions, en a 52, et ces divisions sont alternativement cuivre et ivoire, de manière à constituer un interrupteur circulaire. Les lettres sont gravées moitié sur cuivre, moitié sur l'ivoire, de telle sorte que chacune d'elles correspond à deux divisions. La manette est fixée sur un axe creux qui occupe le centre du cadran, et sur lequel est fixé un bras métallique à ressort portant une roulette qui se meut avec la manette autour du cadran. C'est ce ressort qui remplace le levier interrupteur des manipulateurs ordinaires; par conséquent, il n'y a plus de roue intérieure à gorge sinueuse. Enfin l'aiguille indicatrice est montée sur un axe qui traverse l'axe creux de la manette, et qui est mis en mouvement par

l'échappement ordinaire des télégraphes. Des appareils ainsi disposés étant placés à toutes les stations, on comprend que le courant passant à travers tous les électro-aimants, les aiguilles indicatrices suivront toutes la manette de l'expéditeur, pourvu que la manette de chaque appareil porte au repos sur une partie cuivre. Or, celui qui reçoit la dépêche n'a qu'à placer celle-ci sur l'ivoire pour couper le courant, et l'expéditeur, voyant alors l'aiguille de son récepteur s'arrêter, comprend que son correspondant a un avis à donner ou une observation à faire. Il se pose alors sur le cuivre et attend l'avis que donne le correspondant en manipulant à son tour comme expéditeur. Pendant les durées d'attente réciproques, les manettes de tous les appareils doivent donc être sur cuivre, et le premier appareil qui agit met les sonneries additionnelles des autres en mouvement.

TÉLÉGRAPHES AUTOGRAPHIQUES.

Les télégraphes autographiques ont pour but, comme nous l'avons déjà vu, de reproduire non-seulement les dépêches toutes imprimées, mais encore de les reproduire avec l'écriture même de celui qui les a envoyées. Depuis M. Backwell, plusieurs inventeurs ont cherché à perfectionner ce système télégraphique, et celui qui est parvenu jusqu'ici aux meilleurs résultats est incontestablement l'abbé J. Caselli, bien que le principe de son invention soit à peu près toujours le même que celui de l'appareil de M. Backwell.

Les deux grandes difficultés qui se sont présentées dans les télégraphes autographiques fondés sur les réactions électro-chimiques ont été 1° la nécessité d'obtenir de la part de deux appareils mécaniques, placés à des stations différentes, un synchronisme complet; 2° le peu de netteté et l'indécision des traces laissées sur le papier électro-chimique. Or, ce sont ces difficultés que M. l'abbé Caselli a résolues de la

manière la plus complète et la plus ingénieuse dans son télégraphe.

Pour obtenir un synchronisme parfait, M. Caselli a cherché à réduire le mécanisme moteur de ses appareils à sa plus simple expression, et à suppléer à la promptitude du mouvement par la longueur de la course effectuée par le style imprimeur. A cet effet, il s'est servi du pendule comme organe moteur, et, au lieu de faire réagir le style interrupteur de manière à prendre l'écriture en travers, il a disposé ses appareils de manière que ce style prît les lignes dans le sens de leur longueur. Cette disposition lui était d'autant plus facile qu'avec un pendule d'un mètre de longueur, comme celui qu'il avait choisi, et d'un poids suffisant, il pouvait, par une simple liaison établie entre un chariot porte-style mobile et la tige elle-même du pendule, obtenir une course égale à la largeur d'un de nos journaux politiques. Sans doute une pareille longueur est plus que suffisante, et M. Caselli aurait pu réduire de beaucoup les dimensions de ses appareils; mais, en résolvant le problème dans de pareilles conditions, il démontrait qu'il pouvait, à plus forte raison, le résoudre dans des conditions plus favorables.

Pour obtenir, avec cette disposition, la marche synchronique de deux appareils, M. Caselli règle électriquement la marche des pendules moteurs à chaque oscillation, et pour cela il termine ces pendules par un électro-aimant droit de la forme suivante, qui, en réagissant aux deux extrémités de

Fig. 34.

l'arc d'oscillation sur deux armatures de fer doux, peut arrêter momentanément les pendules avant les oscillations rétro-

grades et ne les laisser repartir qu'après un temps déterminé. Mais comme, pour obtenir le synchronisme, il fallait établir une solidarité de marche entre les deux appareils, plusieurs problèmes étaient à résoudre : il fallait 1° que le courant électrique animant l'électro-aimant de chaque pendule ne fût fermé qu'à la fin de chaque oscillation et fût assez énergique pour réagir efficacement sur une masse très-pesante, telle que celle du pendule moteur ; 2° que l'interruption de ce courant fût faite automatiquement par les pendules eux-mêmes, de manière à être la conséquence d'une position déterminée et symétrique de ces deux pendules ; 3° que les pendules fussent maintenus aux points extrêmes de leur oscillation un petit instant, afin que les pendules, animés chacun d'un mouvement mathématiquement différent, pussent avoir le temps de perdre leur vitesse acquise, et se retrouver, au commencement de chaque oscillation, dans des conditions identiques.

Pour résoudre le premier problème, M. Caselli termine supérieurement le pendule de chaque appareil par un arc métallique oscillant entre deux ressorts frotteurs en rapport avec une pile locale composée de 6 éléments de Bunsen, et pour assurer à l'action magnétique développée une énergie constante, il fait réagir le pendule lui-même sur les ressorts frotteurs de manière à forcer le contact. Cet effet est obtenu à l'aide d'une double bielle et d'un compas articulé qui appuie sur chaque ressort, et dont l'action mécanique peut être réglée au moyen d'une vis de rappel. Afin de rendre plus libres les oscillations du pendule, l'axe sur lequel celui-ci pivote se trouve placé à cheval sur les circonférences croisées de quatre roues de grand diamètre, absolument comme l'axe de la poulie portant les mobiles dans la machine d'Atwood.

Le second problème trouve sa solution dans un double rhéotome dont la disposition est des plus ingénieuses. On

pourrait croire que, pour couper le courant aux deux stations, deux relais disjoncteurs pourraient suffire; mais il n'en est pas ainsi, car, comme on l'a vu, il est essentiel de maintenir avec force la fermeture des circuits locaux à travers l'électro-aimant de chaque pendule. Or, avec de simples relais fonctionnant sous une influence électrique très-faible, la disjonction de circuits ainsi fermés serait impossible. M. Caselli s'est donc trouvé obligé d'avoir recours à un rhéotome électro-magnétique composé d'un électro-aimant spécial agissant sur un disjoncteur. De cette manière, en effet, une dérivation du courant local pouvait animer cet électro-aimant; la fermeture de ce courant pouvait être provoquée sans difficulté par le relais, et comme la force électro-magnétique développée par ce moyen se trouve être alors considérable, la disjonction du circuit pouvait s'effectuer facilement; seulement, pour que la dérivation du courant local ne fût pas par trop préjudiciable à l'action de l'électro-aimant des pendules, une bobine de résistance devait être introduite dans cette dérivation.

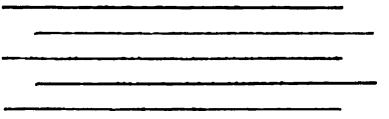
Il nous reste maintenant à expliquer comment les pendules des deux stations réagissent sur les relais de manière à produire une interruption des courants locaux précisément au moment où ils atteignent le point extrême de leur oscillation. En munissant l'extrémité supérieure de chacun des pendules d'un second arc de cercle susceptible de rencontrer à chaque oscillation une lame de ressort, comme nous l'avons déjà expliqué pour les fermetures des courants locaux, on pourrait résoudre simplement le problème; car chaque rencontre de cet arc avec les ressorts provoquerait à travers les deux relais une fermeture du courant de ligne qui provoquerait ensuite une double ouverture des courants locaux au moyen des rhéotomes, et cette double fermeture ne pourrait avoir lieu qu'autant que les pendules seraient dans une position symétrique, puisque, pour avoir lieu, cette

double fermeture exigerait un double contact qui ne pourrait être produit que par les pendules eux-mêmes placés dans une position symétrique; mais ce système, quelque simple qu'il soit, ne pouvait complétement satisfaire M. Caselli, par la raison que les quantités de mouvement pouvant être différentes dans le deux pendules, il fallait amortir la vitesse acquise, ainsi que nous l'avons déjà dit, et c'est ce qui constitue l'objet du troisième problème.

Pour obtenir ce résultat, M. Caselli fait réagir la tige du pendule, par l'intermédiaire d'un butoir et d'un crochet qu'elle porte, sur un rhéotome conjoncteur, composé d'une équerre articulée et à deux branches, dont la plus longue porte un petit poids et se termine par un crochet. A l'état de repos, cette équerre est maintenue, au moyen d'un crochet d'encliquetage, dans une position telle que la plus longue branche incline légèrement en dehors de la verticale, mais quand elle vient à être dégagée de ce crochet d'encliquetage, elle tombe et rencontre bientôt une pièce métallique échancrée, munie d'un ressort sur laquelle elle se clanche. Cette chute est provoquée par le pendule lorsque dans son oscillation ascendante le butoir dont il est muni rencontre le crochet d'encliquetage précédent. Mais au moment de l'oscillation descendante, le crochet du pendule, dont nous avons parlé, rencontre la petite branche de l'équerre qui se trouve alors soulevée par suite de la chute de la grande branche et la ramène dans sa position initiale. Si l'on réfléchit que le temps de chute de l'équerre est d'environ une seconde, et que le contact de cette équerre avec la pièce sur laquelle elle tombe peut provoquer une fermeture du courant de ligne à travers le relais correspondant, on comprendra facilement que, malgré l'arrivée du pendule à son point extrême, la fermeture du courant qu'il provoque se trouve assez retardée pour donner lieu à l'anéantissement complet de la vitesse acquise par lui dans son oscillation ascendante.

Il semblerait logique de penser que le mécanisme précédent devrait être répété de chaque côté de l'arc d'oscillation du pendule, pour réagir symétriquement; mais M. Caselli a observé que la disposition de la pile de ligne par rapport aux appareils, non-seulement dispensait de cette complication, mais encore exigeait que d'un côté fût établi le rhéotome précédent et de l'autre le simple ressort dont nous avons parlé, comme étant le moyen le plus simple de résoudre le second problème. Par suite de cette disposition, les pendules des deux stations, au lieu de marcher synchroniquement dans le même sens, marchent synchroniquement en sens contraire. Mais ceci n'affecte en rien les résultats qu'on obtient, et comme un des deux rhéotomes se trouve toujours intercalé dans le circuit, quel que soit le sens de l'oscillation, le résultat est toujours obtenu à la condition, toutefois: 1° que l'appareil récepteur de chaque station fonctionne sous l'influence de sa propre pile de ligne, ce qui est l'inverse des dispositions télégraphiques ordinaires; 2° que le rhéotome soit inséré dans le circuit du côté de la pile, tandis que le ressort frotteur correspond à la terre. Sans cette disposition, en effet, les dérivations du courant sur la ligne, par les temps humides, pourraient provoquer des réactions anormales dans l'instrument.

Au moyen des combinaisons précédentes, les conditions de synchronisme à chaque oscillation des pendules se trouvent remplies de la manière la plus exacte, mais les défauts correspondants aux variations de vitesse dans l'étendue de l'oscillation ne se trouvent pas pour cela atténués, et ces défauts pourraient avoir pour résultat de produire, dans un traçage continu, des lignes sans concordance comme ci-dessous:



ce qui donnerait une ligne brisée pour une ligne droite verticale. Pour éviter cet inconvénient, M. Caselli n'emploie que les traces fournies par un même sens d'oscillation des pendules. Ces traces peuvent, il est vrai, ne pas se correspondre exactement en longueur sur les deux appareils; mais la forme des lettres reproduites ne se trouve pas altérée. Ces lettres peuvent être seulement un peu plus élevées ou un peu plus aplaties. Sans doute on perd à cela le temps qui correspond aux oscillations éliminées, mais ce temps a été utilisé par M. Caselli à la transmission, et pour cela, chaque pendule réagit à la fois sur deux appareils traceurs symétriques, placés des deux côtés opposés de l'axe d'oscillation; l'un de ces appareils sert de transmetteur et l'autre de récepteur, de sorte qu'avec le système de M. Caselli, l'instrument transmet et reçoit à la fois. Pour obtenir que le même courant produise cet effet, M. Caselli fait réagir le pendule sur un commutateur particulier à triple contact qui, étant déplacé d'un côté et de l'autre, à chaque oscillation réalise l'effet voulu.

Nous avons maintenant à décrire les appareils traçants dont nous venons d'indiquer sommairement la disposition, par rapport au système moteur. Ces appareils consistent dans deux cylindres longs d'environ 60 centimètres, placés l'un à côté de l'autre, comme les cylindres d'un laminoir, et au-dessus desquels se trouve un petit chemin de fer sur lequel se meut un chariot. Ce chariot porte le style traçant, mais comme ce style ne doit pas appuyer lors des mouvements du chariot dans un certain sens, on a été obligé de lui adapter un petit mécanisme particulier, qui consiste dans une bascule mise en mouvement (à l'un de ces bouts) par une fourchette articulée et adaptée à la tige qui relie le chariot au pendule. Le style est fixé sur la bascule, et alors suivant que celle-ci se trouve poussée par la fourchette dans un sens ou dans l'autre, il appuie sur le cylindre (au-dessus duquel passe le papier préparé) ou se trouve soulevé au-dessus de

lui. Le mouvement des cylindres eux-mêmes est obtenu au moyen d'un encliquetage analogue à l'encliquetage Dobo placé à l'extrémité d'un des cylindres et mû par un électro-aimant. A chaque oscillation du pendule un courant local est fermé à travers cet électro-aimant, et l'amplitude du mouvement du cylindre dépend de l'écartement plus ou moins grand de l'armature. On peut donc, par ce moyen, régler comme on le désire l'écartement des lignes tracées par le style, et le faire varier de $\frac{1}{8}$ de millimètre jusqu'à $\frac{1}{3}$ et $\frac{1}{2}$ millimètre.

Jusqu'à présent nous nous sommes attaché à montrer comment M. Caselli avait résolu le problème du synchronisme du mouvement des pendules dans deux appareils éloignés l'un de l'autre; mais un autre problème non moins important à résoudre était, comme nous l'avons dit, l'impression elle-même des signaux ou traces transmises. Jusqu'à présent on n'avait obtenu, en fait de traces électro-autographiques, que des traces blanches se détachant sur un fond haché en bleu; encore fallait-il que ces traces présentassent une certaine épaisseur, sans quoi le cyanure de fer formé qui s'étale au delà des traces laissées par le passage du courant eût bientôt bouché ces traces elles-mêmes. Or, on comprend facilement les désavantages d'un pareil système. Aussi M. Caselli a recherché s'il n'y aurait pas moyen de renverser cette combinaison et de reproduire en traits bleus les traits noirs de la dépêche. D'après les échantillons que ce savant a montrés, il paraîtrait que ce problème a été complétement résolu, mais il n'a pas encore fait connaître les moyens qu'il a employés pour cela, ses droits d'inventeur n'étant pas encore suffisamment garantis. Tout ce qu'on sait jusqu'à présent à cet égard, c'est que la pointe traçante ne devient positive qu'au moment de l'ouverture du courant de ligne. Sans prétendre pénétrer le mystère dont a été entourée cette partie de l'invention de M. Caselli, il me semble que le prin-

cipe physique sur lequel on a fondé la double transmission des dépêches, principe que nous avons exposé dans notre troisième volume, pourrait résoudre à peu près ce problème. Supposons, en effet, que le courant de ligne passant à travers le récepteur soit dirigé de telle manière que la pointe du style soit négative pendant la fermeture du circuit qu'il traverse, aucune trace ne sera produite sur le papier chimique ; il en sera encore de même si, à travers la portion du circuit qui correspond au récepteur, on dirige un courant local de sens contraire au courant de ligne et mis en équilibre de résistance avec lui au moyen du rhéostat. Toutefois les effets produits au moment de l'interruption du courant de ligne seront bien différents dans les deux cas. Dans le premier, le style continuera à ne rien marquer, tandis que dans le second il fournira des traces parfaitement visibles, car l'annihilation du courant de ligne qui rendait le style négatif permet alors la libre circulation du courant local, et comme celui-ci est en sens contraire de l'autre, le style redevient positif et par conséquent susceptible de fournir des traces bleues. Nous avons d'ailleurs vu, page 164, qu'au moyen de son rhéostat, M. Caselli était arrivé à supprimer les courants induits qui se manifestent toujours avec les rhéostats ordinaires, et c'est sans doute à cette circonstance qu'il faut rapporter la netteté des épreuves qui ont été obtenues.

Quand M. Caselli aura publié la description de son appareil, nous pourrons rendre cette notice plus compréhensible à l'aide de plans et de figures que nous ne sommes pas autorisé à publier en ce moment. (Voir les *Appendices* à la fin du volume.)

Nous n'avons plus qu'un mot à dire pour terminer l'exposé des dispositifs ingénieux imaginés par M. Caselli. Voulant détruire l'étincelle toujours trop forte des interrupteurs des piles locales, il a interposé sur une dérivation du circuit

prise de chaque côté de l'interruption, un condensateur de M. Fizeau, comme je l'ai du reste indiqué dans le premier volume de mon *Exposé,* puis il a recouvert l'hélice de l'électro-aimant des pendules de couches alternativement conductrices et isolantes. De cette manière, l'étincelle s'est trouvée en effet considérablement réduite.

Télégraphe autographique de M. Bonelli. — Décidément M. Bonelli ne s'effraie de rien et ne recule devant aucuns moyens, quelque dispendieux qu'ils soient pour réaliser ce qu'il appelle des appareils simples. Hier c'était un troisième rail qu'il voulait installer sur les chemins de fer pour le service de son télégraphe des locomotives. Aujourd'hui c'est bien mieux encore, comme nous allons le voir. Il est certain que sous ce rapport M. Bonelli sort tout à fait de la voie suivie par tous les inventeurs. Jusqu'ici, en effet, dans les transmissions électriques à distance, on *compliquait les appareils pour simplifier les conducteurs*, attendu que dans l'établissement des lignes télégraphiques la grosse dépense est le conducteur, mais M. Bonelli trouve que cette mode a fait son temps, et il *préfère simplifier les appareils aux dépens des conducteurs;* libre à lui !... Reste à savoir quel système est le meilleur.

Tout le mécanisme du nouveau télégraphe de M. Bonelli consiste dans deux peignes métalliques composés de 50 dents, toutes isolées les unes des autres et assez serrées pour être contenues dans une largeur de un centimètre. Ces deux peignes qui constituent, l'un le récepteur, l'autre le transmetteur, et qui se trouvent par conséquent placés aux deux stations correspondantes, appuient chacun sur un cylindre au-dessus duquel se déroule la bande de papier d'étain où est écrite la dépêche, ou la bande de papier électro-chimique destinée à la recevoir. Ce déroulement s'effectue au moyen d'un mécanisme analogue à celui de l'appareil Morse ; seulement la marche synchronique des deux appareils est réglée autant que possible, bien que le synchronisme parfait ne soit

pas nécessaire avec ce système, comme on va le voir. Cette disposition n'est, en définitive, que la reproduction de celle du commutateur des métiers à tisser et paraît, comme je le disais, on ne peut plus simple ; mais que dira-t-on quand nous ajouterons que pour faire fonctionner ces appareils il faut 50 fils à la ligne!!! On répondra, il est vrai, que ces fils pourront être très-fins et réunis en câble de manière à ne constituer qu'un fil unique de la grosseur d'un crayon. Mais sans parler de la difficulté de l'isolement des fils d'un pareil câble et de son prix de revient, les effets produits par un pareil moyen seront-ils satisfaisants? Nous nous permettons d'autant plus d'en douter, que de cette réunion de tant de fils résultent des courants induits qui, subsistant après les interruptions du courant de ligne, doivent nécessairement produire (surtout quand le câble est très-long) une grande indécision dans les contours tracés électro-chimiquement. C'est même pour éviter cette réaction que M. Caselli, dans son système, s'est cru obligé de construire un rhéostat tout particulier dont nous avons indiqué la disposition ingénieuse. Or, cet inconvénient est encore plus grand avec le système de M. Bonelli qu'avec celui de M. Caselli, car bien que M. Bonelli ait changé le mode de réaction chimique et détaché son écriture en jaune sur un fond vert, les signaux, comme on le verra, doivent être fournis par les interruptions du courant, de quelque manière d'ailleurs que celui-ci soit produit. Or, nous avons vu combien ce système de traçage par lui-même présentait d'inconvénients sous le rapport de la netteté des signaux. M. Bonelli prétend qu'il a trouvé moyen de détruire tous ces effets nuisibles par des combinaisons dont il fait un secret. Nous n'en sommes que médiocrement convaincu, car si ce savant avait trouvé moyen de détruire les courants induits que nous avons signalés, il aurait appliqué sa découverte à la télégraphie sousmarine, ce qui aurait été beaucoup plus avantageux pour lui sous tous les rapports

que le télégraphe dont nous parlons. Quoi qu'il en soit, les 50 fils exigés pour former la ligne suffisent à eux seuls pour faire juger à sa juste valeur le système en question, et nous sommes étonné que certaines personnes d'un mérite scientifique incontestable s'en soient faites les défenseurs. Si les personnes auxquelles nous faisons allusion avaient expérimenté comme nous les câbles à fils fins [1], elles auraient vu que le problème n'est pas si simple qu'elles le croient, même au point de vue matériel de l'installation, et n'attribueraient pas à l'*inconsidération* ou à *une légèreté d'esprit* (*sic*) la critique que les gens de l'art ont faite de cette invention; elles seraient en même temps assurées que le prix de 1,000 à 1,200 francs que M. Bonelli assigne pour le prix de ce câble par kilomètre ne ferait guère les affaires du constructeur qui s'en chargerait.

Le jeu de l'appareil de M. Bonelli se comprend du reste aisément : les dents isolées du peigne transmetteur, en passant sur le corps de l'écriture qui défile au-dessous de lui, fournissent individuellement des fermetures et ouvertures de courant qui réagissent à la station opposée en produisant des marques vertes et jaunes différemment placées; et comme ces marques ont sur le récepteur les mêmes positions relatives que les ouvertures de courant par rapport aux fermetures, il se forme sur ce récepteur des traces jaunes sur un un fond vert qui correspondent aux traits faits à l'encre sur la bande du transmetteur. D'après cela, on comprend facilement que le synchronisme des mouvements mécaniques qui entraînent la bande de papier n'est plus essentiel, car les positions relatives des ouvertures et fermetures de courant ne changent jamais; il peut seulement arriver, si ces mouvements sont par trop différents d'accélération, que l'écriture

1. Lors de l'installation de mon anemographe électrique et de mon enregistreur des improvisations musicales, j'ai eu à m'occuper de deux câbles à fils fins ayant l'un 22 fils, l'autre 82.

reproduite soit plus allongée ou plus ramassée que dans l'original, mais elle est toujours lisible et peut se produire assez vite.

Si maintenant nous voulions un peu chicaner, nous pourrions dire que la disposition de l'appareil précédent n'est que la reproduction de mon enregistreur des improvisations musicales imaginé en 1853 et dans lequel un râteau composé de 82 aiguilles d'acier réagit sur une bande de papier électrochimique. Je serais même d'autant plus en droit de réclamer *que j'ai signalé le premier la possibilité de la division indéfinie du courant dans le mode d'enregistration électro-chimique*, propriété que ne possède aucun des autres systèmes d'enregistration électrique et sans laquelle le télégraphe précédent ne pourrait fonctionner. Je pourrais encore ajouter que le râteau commutateur employé dans mon enregistreur avait *précédé d'un an* celui que M. Bonelli a appliqué à ses métiers de tissage ; mais, quoique Normand, je n'insisterai pas davantage sur cette réclamation.

Télégraphe de M. Lacoine. — Plusieurs inventeurs, et en particulier MM. Lacoine et G. Bienaimay, se sont efforcés de résoudre mécaniquement le problème des télégraphes autographiques. Mais leurs systèmes ne paraissent pas encore susceptibles d'une application pratique. Quoi qu'il en soit, nous allons les décrire, persuadé que nous sommes qu'une idée nouvelle, pratique ou non, peut toujours être utilisée d'une manière ou d'une autre.

Si l'on considère que tout mouvement peut être produit par la combinaison de deux mouvements rectangulaires, on arrive à conclure immédiatement que si, par un dispositif électrique quelconque, on peut gouverner régulièrement dans deux sens rectangulaires la marche d'un crayon ou style quelconque, on pourra faire parcourir à ce crayon un chemin sinueux qui pourra être contourné en forme de lettres. Il s'agit donc d'obtenir électriquement ce double

mouvement pour résoudre mécaniquement le problème des télégraphes autographiques.

Dans le système de M. Lacoine, cette marche du style écrivant est obtenu à l'aide d'une équerre BAC (fig. 9, pl. I), à l'angle A de laquelle se trouve fixé le crayon, et dont les branches AB, AC, glissent à travers deux guides E et G, qui sont eux-mêmes mobiles dans la direction perpendiculaire à la branche qu'ils soutiennent. Ces guides peuvent, en effet, être mis en mouvement par une crémaillère qui les porte et un pignon dépendant d'un mécanisme d'horlogerie commandé par un système particulier d'électro-aimants.

Ce mécanisme se compose essentiellement de deux roues folles R et R′, tournant librement sur l'arbre V, et portant chacune une roue d'angle N et N′ disposée de manière à s'engrener avec une roue T faisant partie du mouvement d'horlogerie. Du côté opposé à ces roues N et N′ se trouvent deux autres roues à rochet D et D′ fixées, en sens inverse l'une de l'autre, sur l'arbre V, et ayant pour cliquet d'arrêt l'armature d'un électro-aimant droit K, K′, que porte chacune des roues R, R′. Enfin, au-dessus de ces roues R, R′, se trouve un échappement Breguet EE′, commandé par un électro-aimant X. Les roues Z, Z′, sont spécialement affectées aux transmissions électriques et nécessitent pour fonctionner le brisement de l'axe V, ce que l'on obtient au moyen d'une boîte d'engrenage. Ces roues ont un nombre de dents égal à celui des roues R R′, mais leur intervalle est rempli avec de l'ivoire, de manière à former un disque interrupteur. Au-dessus de ce disque appuie un frotteur à ressort OO′, lequel est mis en rapport avec un commutateur à renversement de pôles placé sur l'une des joues de ce disque. Ce commutateur est composé de trois branches adaptées à un collier placé à frottement doux sur l'axe V, et placées à cheval entre deux butoirs rigides. Le

pôle positif de la pile de ligne communique par des frotteurs avec les deux branches extrêmes, et le pôle négatif correspond à la branche du milieu. Enfin, les deux butoirs sont en rapport avec le frotteur du disque. On devine déjà que cette disposition de commutateur a pour but d'obtenir des fermetures de courant dans un sens différent, suivant le sens de rotation du disque Z, Z′, c'est-à-dire suivant que les guides EF, GH s'abaissent ou s'élèvent; inutile de dire que tous les mécanismes précédents sont répétés pour les deux sens de mouvement du crayon A, c'est-à-dire pour les deux guides EF, GH, et qu'un relais à double effet S, S′, commande la fonction de ces mécanismes. Nous ajouterons seulement que l'une des armatures *m* de ces relais est aimantée, tandis que l'autre *n* est en fer doux[1]. Voici maintenant comment cet appareil fonctionne, car, tel que nous venons de le décrire, il peut servir à la fois de transmetteur et de récepteur.

Supposons qu'il s'agisse d'envoyer une dépêche : on prendra le porte-crayon A, et, sans se préoccuper de l'équerre à laquelle il est fixé, on écrira sur le papier P, comme on le ferait sur du papier ordinaire; sous l'influence des mouvements accomplis par les branches AB, AC, les guides EF, GH, se trouveront alternativement et même simultanément haussés ou abaissés, et par suite les roues ZZ′, que l'on aura préalablement dégagées de leur boîte d'engrenage, seront mises en mouvement dans un sens ou dans l'autre. La quantité dont ces roues tourneront étant précisément en rapport avec les mouvements des guides EF, GH, il sera facile d'apprécier électriquement les déplacements de ceux-ci, car pour chacun de ces déplacements il passera sous le frotteur un certain nombre de dents des roues Z, Z′, qui fourniront une série de fermetures de courant susceptibles de réagir

1. C'est la même disposition de relais que celle qui a été employée pour mon télégraphe imprimeur.

sur le récepteur. Or, comme ces fermetures seront faites avec le courant dirigé dans deux sens opposés suivant que les guides EF, GH, se sont élevés ou abaissés, on pourra provoquer par là deux effets électriques diamétralement contraires qui pourront être utilisés à la reproduction des mouvements accomplis par le crayon transmetteur, ainsi que nous allons le voir. Toutefois, pour qu'on puisse bien comprendre le système, nous ferons remarquer 1° que les deux courants envoyés par le transmetteur ne réagissent que sur les relais S et S′; 2° que le courant local envoyé par l'armature *m* des relais réagit sur les électro-aimants K et K′ des roues motrices; 3° que le courant local envoyé par l'armature *n* n'a d'effet que sur l'électro-aimant X. Cela posé, examinons ce que produisent nos courants de ligne envoyés tantôt dans une direction, tantôt dans une autre.

Admettons que 5 fermetures de courant soient envoyées à travers le relais S, de manière à attirer l'armature *m*. Au moment de la première fermeture, le courant local sera fermé, à travers l'électro-aimant K, par l'abaissement de *m*, et cette fermeture sera maintenue par la réaction magnétique de cette armature sur le fer de l'électro-aimant S. La roue R se trouvera alors dégagée de sa liaison avec la roue D, et par conséquent avec l'axe V, et pourra tourner librement comme une roue folle[1]. En même temps, l'armature *n* sera abaissée et fera mouvoir l'échappement E′, qui laissera

1. Je crois que cette partie du problème serait plus efficacement résolue au moyen de l'embrayeur à mouvement circulaire de M. Achard qui, dans ce cas, pourrait être notablement simplifié. Cet embrayeur, en effet, pourrait consister simplement dans deux bobines électro-magnétiques de fer doux et à rondelles de fer qui seraient traversées à frottement dur par l'axe V, et placées devant les roues R et R′, de manière à correspondre à deux disques de fer dont ces roues seraient munies. Une petite lame de ressort empêcherait le contact intime de ces disques avec les bobines en temps ordinaire; mais au moment du passage du courant dans ces bobines, ce ressort venant à céder, l'adhérence aurait lieu et les roues R et R′ pourraient communiquer leur mouvement à l'axe V.

échapper d'une dent la roue R'. Cette roue entraînera la roue à rochet D', et par suite fera monter d'autant le guide EF; pour les 4 fermetures et les 5 ouvertures du courant qui suivront, 9 dents de cette même roue échapperont et augmenteront l'étendue de la course de ce guide jusqu'à ce que celui-ci soit remonté de la même quantité que le guide correspondant de l'appareil faisant fonction de manipulateur. Comme le guide GH se trouve subir de la même manière une action analogue, et que chaque action s'effectue dans le même moment de part et d'autre (car il y a deux fils à la ligne), il arrive forcément que le crayon traçant du récepteur suit exactement les mêmes contours que celui du manipulateur. Si les 5 fermetures de courant, au lieu de se faire avec le courant dirigé comme dans le cas précédent, s'étaient effectuées avec une direction contraire de ce même courant, l'électro-aimant K' serait devenu actif et ç'aurait été la roue R qui eût marché; mais comme le sens de la marche de cette roue est précisément contraire de celui de la roue R', le guide EE se serait abaissé au lieu de se trouver relevé.

Pour résoudre plus complétement le problème, M. Lacoine a voulu que les traces laissées par le style écrivant fussent discontinues à la volonté du télégraphiste, et, par conséquent, que ce style pût être élevé et abaissé en temps opportun. Pour cela il a placé sur la branche AB de l'équerre portant le crayon, un électro-aimant, dont l'armature en basculant devait produire cette élévation ou cet abaissement. Mais je ne vois aucune nécessité à cette discontinuité des traces laissées par le style écrivant, d'autant plus que pour l'obtenir il faudrait ajouter un troisième fil à la ligne. Nous n'entrerons donc dans aucuns détails relativement à cette partie du problème.

Télégraphe de M. G. Bienaymé. — M. G. Bienaymé a cherché à résoudre le même problème que M. Lacoine, mais d'une manière plus complète encore en n'employant qu'un seul fil

pour le circuit télégraphique. Ce télégraphe n'ayant pas été exécuté, il serait difficile d'affirmer à priori si ses fonctions pourraient être effectuées d'une manière régulière; plusieurs motifs sembleraient même faire supposer le contraire, mais, quoi qu'il en soit, sa conception renferme une idée nouvelle et ingénieuse, et à ce titre nous devons entrer dans quelques détails à son égard. Voici comment M. Bienaymé décrit lui-même son invention.

« On place, dit-il, à la station de départ un disque analogue à ceux des télégraphes à cadran, et dont la circonférence est divisée en parties conductrices et non conductrices. Ce disque tourne en frottant contre 4 lames, et l'appareil est disposé de telle sorte que chacune de ces lames devient conductrice ou cesse de l'être, selon les mouvements du crayon qui écrit et qui est placé au centre du disque. La première lame est conductrice tant qu'un des mouvements composants a lieu de haut en bas, la seconde tant qu'un de ces mouvements a lieu de gauche à droite, la troisième tant qu'un des mouvements composants est dirigé de bas en haut, et la quatrième tant qu'un de ces mouvements est dirigé de droite à gauche. Au moyen de cette disposition, la rotation du disque ouvre ou ferme un circuit électrique, et le courant se produit quand la lame contre laquelle passe une division conductrice du disque se trouve elle-même conductrice au moment du contact.

« A la station correspondante est placé un autre disque qui porte des chevilles en nombre égal aux divisions conductrices du premier. Par une disposition spéciale de l'appareil, le mouvement des deux disques est réglé de façon à ce que chaque division conductrice de l'un, et chaque cheville de l'autre occupent toujours une position identique. Le second disque se meut entre quatre roues dont chacune est solidaire d'une des lames du manipulateur, et n'est par conséquent sollicitée qu'autant que le mouvement qui rend cette lame

conductrice a lieu dans le manipulateur. Dès que ce disque est sollicité, chaque roue détermine un mouvement du crayon récepteur qui se meut aussi dans le même sens que le crayon transmetteur.

« Il va sans dire que les divisions conductrices du premier disque, et les chevilles du second, sont en nombre impair pour qu'il n'y ait jamais qu'une division conductrice vis-à-vis d'une lame, et qu'une cheville vis-à-vis d'une roue.

« Les différentes pièces dont il vient d'être question sont renfermées dans un cylindre placé à chaque station et que traverse le crayon. C'est là tout l'appareil qui peut devenir manipulateur ou récepteur selon qu'on le place sur l'une ou l'autre base. De ce cylindre sortent deux fils réunis en un seul, mais qui sont isolés l'un de l'autre. A partir d'un point fixe ils se séparent. L'un communique avec le fil de la ligne, l'autre correspond à la pile quand l'appareil est manipulateur et communique avec la terre quand l'appareil est récepteur.

« Tout l'appareil consistant ainsi dans le cylindre qui contient le crayon, on peut placer une feuille de papier ordinaire sur une table quelconque, et en conduisant ce cylindre avec la main, on peut lui faire prendre toutes les positions, tandis que le double fil maintient la communication électrique sans gêner en rien ses mouvements. C'est donc avec l'appareil lui-même qu'on écrit, et par suite des réactions électriques produites l'autre appareil, placé debout sur une feuille de papier, se promène sur cette feuille en reproduisant les mêmes mouvements que l'appareil transmetteur, et en laissant par suite les mêmes traces écrites par le crayon. Voici maintenant comment ce résultat peut être obtenu.

« La base du cylindre, quand l'appareil est manipulateur, ne repose pas directement sur le papier, mais sur quatre supports, disposition qui permet à l'œil de suivre les mouvements que la main imprime au crayon. Chacun de ces supports consiste dans deux tiges AB (voir fig. 10, 11 et 12, pl. 1) appli-

quées contre la paroi intérieure du cylindre. Ces tiges sont en métal, et sont isolées du cylindre. Celui-ci contient en outre un électro-aimant dont le barreau, qui est creux, laisse passer le crayon. Autour de la partie de barreau qui dépasse la bobine est un ressort à boudin C, fixé à l'électro-aimant. Ce ressort communique d'une part avec le fil de la bobine (l'un des deux pénétrant dans le cylindre), et il communique d'autre part avec un disque D, sur lequel il appuie. Ce disque est composé d'une plaque en matière non conductrice qui sépare deux plaques métalliques. La circonférence de l'une E présente un nombre impair de divisions conductrices F, et c'est sur cette plaque qu'appuie le ressort C. L'autre plaque G est entièrement conductrice, et communique constamment avec le second fil qui sort du cylindre. Un barillet mû par un ressort d'horlogerie est fixé au disque D, qui tourne avec lui en touchant les tiges A, B.

« Si le barillet fait passer une division F contre une des tiges A, un courant peut passer par le fil qui vient de la pile, la bobine, le ressort C, la plaque E, la tige A, la plaque G et le fil de ligne ; mais ce courant ne s'établit qu'autant que dans le récepteur le barillet fait passer une division conductrice F, contre la tige A correspondante.

« Le courant passe alors dans les deux appareils, et, dans le récepteur, il suit un chemin contraire en pénétrant par le fil de la ligne et en sortant par l'autre fil.

« Au-dessus de chaque division conductrice le barillet porte une cheville H, et lorsqu'une de ces chevilles rencontre une tige A, le ressort d'horlogerie est arrêté ; mais la division F étant alors en contact avec la tige A, le courant s'établit. L'électro-aimant de chaque appareil attire une pièce de fer doux fixée sur la plaque E, et le disque ainsi que le barillet sont attirés. Ce mouvement dégage la cheville en l'amenant au niveau d'une entaille pratiquée dans la tige A, et le ressort d'horlogerie reprend sa liberté. Puis, quand la division F

a passé contre la tige A, le courant cesse, et le disque, ainsi que le barillet, reprennent leur première position sous l'action du ressort C; le disque et le barillet tournent alors de nouveau dans le plan primitif jusqu'à la rencontre d'une cheville H et d'une tige A, ce qui a lieu presque aussitôt. Les choses se passant de même dans les deux appareils, et le courant ne s'établissant, comme je l'ai dit, qu'autant qu'une division F du manipulateur et une division F du récepteur se trouvent vis-à-vis d'une tige A, le barillet de chacun s'arrête et repart en même temps que l'autre : c'est ainsi qu'est régularisée la rotation des deux disques.

« Pour opérer la décomposition et la recomposition des mouvements à l'aide desquels doit se reproduire l'écriture tracée, l'appareil est muni, entre l'extrémité des couples de tiges AB, d'un anneau polygonal I qui repose sur le papier. Cet anneau est entraîné par les tiges, et, comme il est plus petit que l'espace compris entre les couples, il vient s'appliquer, selon le sens du mouvement que la main imprime au cylindre, contre l'un ou l'autre couple AB et même contre deux à la fois.

« Quand la division F cesse de passer contre la tige A, elle commence à passer aussi contre la seconde tige B du couple. Celle-ci, étant plus courte que la première, ne communique jamais avec la plaque G; il n'y a donc pas de courant possible dans ces conditions. Mais si, à ce moment, l'anneau polygonal I se trouve appliqué, dans le manipulateur, contre l'extrémité de ce même couple AB, le contact a lieu, dans cet appareil, entre les deux tiges par l'intermédiaire de l'anneau. Le contact ayant ainsi lieu, d'une part, entre la tige A et la plaque G, et, d'autre part, entre la tige B et la division conductrice F, le passage du courant devient possible dans le manipulateur. Il est aussi possible dans le récepteur par l'application de son anneau contre les tiges, application constante dans cet appareil, ainsi que je l'expliquerai plus loin.

« Dans le cas où le passage d'une division F contre la tige B coïncide avec l'application de l'anneau contre le couple AB du manipulateur, le courant, qui n'est pas interrompu après le passage de la division conductrice F contre la tige A, continue d'attirer le fer doux, et le disque, comme le barillet, n'obéit à l'action du ressort C qu'après la cessation du courant. Le disque et le barillet tournent ainsi dans le plan où l'électro-aimant les avait attirés, et la cheville H qui vient d'être dégagée de l'obstacle de la tige A, en passant dans l'entaille, rencontre alors au même niveau la dent d'une roue J qu'elle sollicite.

« Dans le manipulateur, ce mouvement de la roue J n'a aucun effet, car l'appareil repose alors sur les quatre supports, et les autres pièces se trouvent renversées. Mais, quand il est récepteur, l'appareil qu'on a retourné repose sur les quatre roues J. L'une d'elles, étant ainsi sollicitée, tend à faire marcher le cylindre dans le même sens que le cylindre manipulateur. Pour que le crayon obéisse à ce mouvement, d'autres chevilles H′ sont placées sur le barillet, et, tandis qu'une cheville H sollicite la roue J en poussant sa dent la plus haute, la cheville H′, diamétralement placée, agit sur la roue J opposée en poussant sa plus basse dent. Ces deux roues parallèles tournent ainsi dans le même sens. A peine les chevilles ont-elles cessé d'agir sur les roues, que la division conductrice F ne passe plus contre la tige B, et le courant est interrompu. Le disque et le barillet cèdent dès ce moment à l'action du ressort C jusqu'à ce qu'une autre rencontre d'une division F et d'une tige A rétablisse le courant. C'est de la fréquence de ces interruptions et de ces rétablissements du courant, lesquels sont dus à la rotation des disques, que dépend la perfection de l'écriture tracée par le récepteur.

« J'ai dit que, dans le récepteur, la communication reste constante entre les tiges A et B; voici de quelle manière :

« L'anneau polygonal, lorsqu'il touche le papier, dans le manipulateur, s'appuie en outre sur de petites pièces K non conductrices, dont est pourvue l'extrémité des tiges. Le but de ces pièces K est d'isoler les tiges du papier et de retenir l'anneau quand la main enlève ou renverse l'appareil. Lorsque le cylindre est retourné, l'anneau est encore retenu par des appendices L en même métal que les tiges et qui en font partie. Ces tiges sont ainsi mises en contact deux à deux par l'intermédiaire de l'anneau, quel que soit celui des couples de tiges qu'il touche latéralement.

« Le même crayon taillé aux deux bouts sert aux deux fonctions de l'appareil. A cet effet, le fer doux, le disque et le barillet sont creux comme le barreau de l'électro-aimant, et le crayon traverse tout l'appareil ; son propre poids le fait appuyer sur le papier dans les deux cas. »

Télégraphe autographique de M. de Lucy. — Plusieurs autres personnes, entre autres M. de Lucy, ont proposé encore divers systèmes de télégraphes autographiques; mais comme ils sont inférieurs, soit sous le rapport de la perfection, soit sous le rapport de l'originalité de l'invention, à ceux dont nous avons parlé, nous ne ferons que les signaler ici pour mémoire. Disons cependant quelques mots de l'appareil de M. de Lucy, qui a été présenté il y a quelques mois au cercle de la Presse scientifique et qui, grâce à l'habileté de M. Mouilleron, son constructeur, a pu fournir des effets assez marqués pour étonner un moment l'auditoire. Il est vrai que cet étonnement n'a pas été de longue durée quand on a pu s'assurer que, dans l'appareil présenté, le grand problème de la marche synchronique du récepteur et du transmetteur n'était nullement résolu, et que ce synchronisme n'avait lieu que par une marche solidaire et mécanique de ces deux parties de l'appareil télégraphique, lesquelles sont forcément séparées dans la pratique. A cette remarque faite par M. Beaudoin, l'inventeur a répondu qu'il était en

possession d'un moyen très-sûr d'assurer le synchronisme à distance ; mais je doute que ce moyen soit plus parfait que celui de M. Caselli ; d'ailleurs M. de Lucy ne l'a jamais fait connaître. D'un autre côté, comme le système traçant par son principe même entraîne dans l'appareil en question une grande lenteur pour la reproduction des signaux, on ne peut, en définitive, considérer cet appareil que comme un instrument de démonstration. Quoi qu'il en soit, voici en quoi il consiste :

Un chariot mobile sur un petit chemin de fer porte d'un côté une pointe traçante servant de transmetteur, et du côté opposé un levier terminé par un tire-ligne qui fait partie d'un système électro-magnétique mû par un électro-aimant. Ce chariot lui-même, ainsi que le chemin de fer sur lequel il glisse, est porté par une plate-forme mobile dans un sens perpendiculaire au mouvement du chariot. Le mouvement de ce chariot est un mouvement de va-et-vient assez lent qui est obtenu à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie et d'une double crémaillère portée par le chariot lui-même. Un pignon à axe mobile qui se trouve alternativement haussé ou abaissé (à l'aide d'un plan incliné) à chaque mouvement complet du chariot, vient engrener, tantôt avec la crémaillère du dessus, tantôt avec la crémaillère du dessous, et produit ainsi le mouvement de va-et-vient. En même temps, un cliquet porté encore par le chariot réagit à chaque extrémité de son parcours sur un rochet qui fait avancer lentement la plate-forme du chemin de fer de la distance de 1 ou 2 millimètres environ.

Il résulte de cette disposition que les traces laissées par le tire-ligne électro-magnétique, si celui-ci était continuellement abaissé, seraient une série de lignes parallèles éloignées de 1 ou 2 millimètres les unes des autres et d'une longueur égale à celle des rails du chemin de fer. Or, pour obtenir ce traçage, deux tablettes de cuivre ont été placées des deux

côtés du chemin de fer, l'une servant à la transmission, l'autre à la réception. De plus, afin que le tire-ligne fût toujours fraîchement imprégné d'encre, à chaque double mouvement du chariot, une rigole remplie d'encre grasse a été adaptée à l'une des extrémités de la tablette du récepteur, et un taquet rigide placé au-dessus du levier du tire-ligne, ou simplement un interrupteur de courant, s'est trouvé disposé de manière à faire plonger celui-ci dans la rigole à chaque retour du chariot.

D'après cette disposition de l'appareil, il est facile de comprendre sa marche. Lorsque la pointe servant d'interrupteur se trouve sur le papier métallique sur lequel est écrite la dépêche, le courant se trouve fermé à travers le récepteur; l'électro-aimant du chariot mobile est actif et le levier du tire-ligne se trouve soulevé au-dessus du papier du récepteur. Mais aussitôt que la pointe du transmetteur, en passant sur un trait à l'encre, interrompt le courant, le tire-ligne s'abaisse et laisse un point correspondant à la durée de l'interruption. Or, ce sont tous ces points groupés ensemble qui dessinent les signaux envoyés comme dans les autres systèmes.

Maintenant on comprendra facilement qu'en raison du temps qu'exigent la désaimantation et la chute du levier, tous les points laissés par le tire-ligne seront en retard sur les fermetures de courant; or, comme dans l'oscillation en retour, ces retards deviendraient des avances qui pourraient empêcher la correspondance ou le raccord des points entre eux, force devait être de corriger ce retard à chaque oscillation rétrograde. Pour cela, M. de Lucy a placé à chaque extrémité de la tablette du récepteur un petit taquet contre lequel le levier du tire-ligne venant buter se trouve par ce seul fait dévié de la quantité nécessaire à la correction du retard en question.

Dans l'expérience faite au cercle de la Presse scientifique,

un seul appareil avait été apporté, de telle sorte que le récepteur se trouvait marcher sous l'influence même de son transmetteur. On comprend dès lors que le résultat ne pouvait être douteux, puisque le synchronisme des deux appareils était infaillible.

Pour ceux qui ont comparé la vitesse d'action des électro-aimants à celle des effets électro-chimiques, il sera aisément démontré que le système précédent, non-seulement est inférieur à ceux de MM. Caselli et Backwell, mais qu'il est tout à fait inadmissible dans la pratique malgré ses combinaisons ingénieuses.

TÉLÉGRAPHES-IMPRIMEURS.

Malgré la défaveur qui a accueilli les télégraphes-imprimeurs dès leur origine, on s'occupe toujours de les perfectionner, surtout en vue de la vitesse de l'impression. Bien qu'aucun système n'ait encore résolu complétement le problème, nous aurons à citer cependant quelques appareils qui se font remarquer par des dispositions nouvelles ; de ce nombre sont les systèmes télégraphiques de MM. Mouilleron, Gossin, Queval, Regnard, etc.

Les difficultés considérables que présentent les télégraphes-imprimeurs au point de vue de la célérité de transmission de la dépêche sont : 1° la multiplicité des mouvements qui doivent être accomplis par l'échappement, lesquels sont doubles de ceux des télégraphes à cadran ; 2° la nécessité dans laquelle on se trouve de produire un plus ou moins grand nombre de ces mouvements pour faire arriver le caractère désigné de la roue des types devant le repère ; 3° la nécessité de ramener la roue des types au repère après chaque impression de lettre pour empêcher l'accumulation des erreurs. Sans doute dans les télégraphes à mouvements synchroniques, ces causes de retard réagissent d'une manière moins

marquée, mais en revanche la correction des dépêches est beaucoup moins grande, ainsi que l'a démontré l'expérience. Il est vrai qu'avec le nouveau système de synchronisme de l'abbé Caselli, la régularité de la marche des appareils serait plus assurée, mais ces appareils devraient avoir alors des dimensions considérables, et d'ailleurs c'est toute une série de combinaisons nouvelles à imaginer, ce qui n'a pas encore été fait. Pour éviter les inconvénients dont nous avons parlé précédemment, MM. Mouilleron et Gossin se sont imaginé de répartir les 25 lettres de l'alphabet sur cinq roues des types indépendantes, laissant au manipulateur le soin mécanique de faire marcher telle ou telle de ces roues suivant le caractère désigné. De cette manière, chaque lettre n'exigeait au plus, pour arriver au repère, que cinq doubles échappements, ce qui accélérait la vitesse de transmission télégraphique dans le rapport de 1 à 5. Comment obtenir une pareille réaction par l'intermédiaire d'un seul fil? Telle était la grande difficulté du problème, difficulté d'autant plus sérieuse que le manipulateur devait avoir trois fonctions à remplir : 1° de faire placer devant le repère celle des cinq roues portant le caractère désigné ; 2° de faire tourner cette roue de la quantité voulue pour faire arriver la lettre ; 3° de solliciter en ce moment-là le mécanisme imprimeur.

Pour résoudre ce problème, MM. Mouilleron et Gossin ont rendu les cinq roues des types du récepteur mobiles dans deux sens différents, c'est-à-dire susceptibles d'être déplacées latéralement dans leur mouvement de rotation. Cet effet pouvait être obtenu à l'aide d'un axe creux mobile, dans le sens longitudinal, sur une broche, et muni à ses deux extrémités de tiges portant des dents de rochet. Ces tiges, en effet, pouvaient subir de cette manière, dans une position déterminée, la réaction d'un encliquetage mécanique commandé par un électro-aimant. La broche portant cet axe

creux pouvait d'ailleurs porter une roue d'échappement de cinq dents commandée également par un électro-aimant et être mise en mouvement par un mécanisme d'horlogerie analogue à celui des autres télégraphes. Quant au mécanisme imprimeur, il devait se trouver confiné en face de l'une des roues extrêmes et rester fixe, pour être soumis seulement à l'électro-aimant destiné à réagir sur lui.

Avec une pareille disposition, supposons que le courant envoyé d'abord par le manipulateur dans un sens déterminé traverse les électro-aimants des deux premiers mécanismes que nous avons décrits, de telle manière qu'il fasse marcher seulement l'encliquetage réagissant sur l'axe creux des roues des types, il arrivera que pour une seule fermeture de courant cet axe creux avancera d'un cran, et alors la deuxième roue des types se présentera devant le mécanisme imprimeur; pour deux fermetures, la troisième roue se substituera à la seconde; pour trois fermetures, ce sera la quatrième roue qui sera substituée; enfin, pour quatre fermetures, ce sera la cinquième. Ainsi, suivant que le manipulateur fermera 1, 2, 3 et 4 fois le courant dans le sens voulu, pour faire marcher le mécanisme en question, on pourra faire avancer devant le mécanisme imprimeur celle des cinq roues des types qu'on désirera. Maintenant, en inversant le courant, on pourra faire réagir le manipulateur sur le mécanisme commandant la rotation des roues des types, et suivant que ce courant sera fermé 1, 2, 3, 4 ou 5 fois, on pourra faire avancer devant le repère la lettre désignée. Pour obtenir l'impression de la lettre, MM. Mouilleron et Gossin ont usé d'un artifice assez ingénieux. Ne pouvant plus disposer de l'inversion directe du courant, puisque cette inversion était utilisée à la marche du premier mécanisme, ils ont eu recours à la pile locale, et pour la mettre en action ils ont fait en sorte (au moyen d'un rhéotome) de couper le circuit à travers l'électro-aimant du premier mécanisme au mo-

ment de la rotation des roues des types. Par ce moyen, une nouvelle inversion du courant de ligne pouvait exercer son effet sur un électro-aimant relais, et celui-ci pouvait mettre en jeu, avec la pile locale, le mécanisme imprimeur. Ce mécanisme, à son tour, par une réaction secondaire qu'il est facile de deviner, pouvait repousser la fourchette d'échappement, et tout en ramenant les roues des types à leur position initiale, il pouvait rétablir la communication du circuit de ligne avec l'électro-aimant du premier mécanisme.

Le manipulateur appelé à réagir mécaniquement sur le récepteur précédent d'une façon aussi complexe, se compose de 5 leviers à manche articulés à l'intérieur d'une boîte en quart de cercle à travers laquelle ils ressortent par des rainures. Le couvercle circulaire de cette boîte porte gravées sur cinq lignes verticales à mi-longueur des rainures, les 25 lettres de l'alphabet, et chacun des leviers est muni d'une bascule à ressort qui, en se promenant dans des entailles sinueuses pratiquées sur des cloisons métalliques, séparant la boîte en cinq compartiments, réalise trois effets différents. D'abord, avant que chaque levier atteigne la première lettre du compartiment auquel il appartient, il opère suivant son numéro d'ordre 1, 2, 3, 4 fermetures de courant dans le sens voulu pour faire marcher le mécanisme du récepteur commandant la pose des roues des types. Le premier levier n'opère, il est vrai, aucune fermeture du courant, mais le deuxième levier en opère une, le troisième en opère deux, enfin le cinquième en opère quatre. Quand ces leviers arrivent à la hauteur des lettres gravées sur la boîte, le courant se trouve renversé et fermé une fois pour la première lettre, deux fois pour la deuxième, trois fois pour la troisième, etc. Aussitôt que l'on ramène ces leviers à leur position initiale, la bascule dont ces leviers sont armés échappe les entailles des cloisons de manière à renverser de nouveau le courant, et c'est cette dernière inversion qui détermine l'im-

pression, ainsi que nous l'avons expliqué précédemment.

Le second appareil de MM. Mouilleron et Gossin se rapproche davantage des télégraphes imprimeurs ordinaires et particulièrement de celui que j'ai imaginé en 1853. Dans cet appareil, le mécanisme compositeur fonctionne comme celui des télégraphes à cadran sous l'influence du courant dirigé dans un certain sens, et le mécanisme imprimeur fonctionne sous l'influence du courant renversé. Seulement, après l'action de ce dernier mécanisme, la roue des types se trouve repoussée sous l'influence du retour du marteau imprimeur, en dehors de la fourchette d'échappement, et revient au repère sollicitée qu'elle est par un ressort boudin.

Le manipulateur de cet appareil est analogue aux manipulateurs des télégraphes à cadran construits par M. Breguet : c'est un disque mobile qui porte la roue à gorge sinueuse qui réagit sur le levier interrupteur (voir la description des télégraphes à cadran, page 46, 2e vol. de l'*Exposé*). La manivelle qui met en mouvement ce disque tourne comme à l'ordinaire au centre du cadran fixe sur lequel sont gravées les lettres de l'alphabet, mais elle doit être toujours ramenée au repère après chaque signalement de lettre. Dans le premier mouvement de la manivelle, le disque opère le nombre voulu de fermetures et d'interruptions de courant pour la marche de l'appareil récepteur, et ce n'est que quand on ramène la manivelle au repère que celle-ci réagit sur un commutateur particulier qui, en renversant le courant, fait marcher le mécanisme imprimeur.

Cette disposition télégraphique a été reproduite avec quelques variantes par MM. Grimaux, Queval, Thompson, etc.

Ainsi, dans le système de M. Grimaux, le manipulateur est à cadran tournant comme les premiers manipulateurs Breguet, et c'est quand la manivelle arrive au repère, après avoir été chercher la lettre, que l'inversion du courant s'effectue.

La roue des types, au lieu de porter les caractères en relief sur son exergue, n'est qu'une simple étoile ayant 28 rayons qui tourne sans mouvement d'horlogerie sous l'influence d'un rochet. L'impression s'effectue par l'action directe d'un électro-aimant que met en jeu l'inversion du courant.

Dans le télégraphe de M. Queval, le récepteur fonctionne, comme celui de l'appareil précédent, sans mouvement d'horlogerie sous l'influence d'un double relais qui a une disposition particulière que nous représentons ci-dessous, et le marteau imprimeur en réagissant sur la roue des types forme relais à plusieurs contacts pour renvoyer le courant à différents avertisseurs au moment où il entre en fonction. Le manipulateur est d'ailleurs celui des telégraphes à cadran de Breguet avec certains accessoires que nous décrirons sommairement.

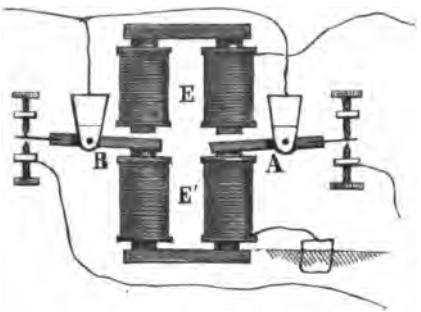


Fig. 35.

Le relais représenté ci-dessus se compose de deux électro-aimants à deux branches, placés vis-à-vis l'un de l'autre par leurs pôles contraires; mais leur armature, au lieu de se composer d'une palette placée entre les quatre pôles, est double et se compose de deux petits aimants A et B interposés chacun entre deux pôles. Ces aimants sont disposés de manière à fonctionner différemment suivant le sens du courant qui

passe à travers les électro-aimants, et pour cela ils n'ont qu'à présenter à l'action de ceux-ci un pôle de même signe. Il en résulte que suivant la direction du courant transmis le courant de la pile locale fermé par ces aimants A et B peut réagir soit sur le mécanisme imprimeur, soit sur le mécanisme compositeur qui a action sur la roue des types.

Ces mécanismes sont du reste, en apparence, d'une simplicité extrême : une roue à rochet de 40 dents sur laquelle réagit directement l'électro-aimant animé par la pile locale, commande le mouvement de la roue des types qui est fixée sur le même axe qu'elle et qui porte, en outre des 26 lettres et des 10 chiffres, quatre appendices de contact fixés latéralement et sur lesquels doit réagir le marteau imprimeur, comme nous le verrons à l'instant. Ce marteau adapté à un levier vertical articulé sur lequel réagit un électro-aimant spécial, au lieu d'être rigide, est constitué par un tampon assez dur imprégné d'encre, de sorte que la roue des types n'a plus besoin de s'encrer ; mais, en revanche, il faut que la bande de papier qui doit être imprimée soit très-mince. Celle-ci, d'ailleurs, passe entre la roue des types et ce marteau-tampon, comme dans tous les autres télégraphes, et se trouve successivement reculée à chaque retour du marteau par les moyens connus.

En outre du marteau imprimeur, le levier sur lequel il est fixé porte un butoir horizontal assez long pour rencontrer les cliquets de la roue à rochet qui commande la roue des types, et dégager celle-ci au moment de l'action du marteau imprimeur. Cette disposition a été adoptée, comme on le comprend aisément, pour obtenir le retour de la roue des types au repère après chaque impression, sous l'influence d'un contrepoids agissant sur l'axe de cette roue ; toutefois, comme par suite de la disposition des pièces, le rochet de la roue des types ne pourrait être dégagé d'un côté sans être arrêté de l'autre, un mécanisme auxiliaire a dû être ajouté, et ce mé-

canisme consiste seulement dans un double encliquetage commandé par un système électro-magnétique que l'inventeur ne décrit pas, mais qui doit être un troisième électro-aimant ou l'un des deux électro-aimants du récepteur. Par l'effet de l'un de ces encliquetages qui n'est autre chose qu'un crochet à ressort, les cliquets dont nous avons parlé, une fois repoussés, se trouvent maintenus dans cette position jusqu'à ce que la réaction électro-magnétique dont il a été question plus haut leur ait permis de se dégager. Par l'effet de l'autre encliquetage qui consiste dans un simple butoir mis en position convenable par le marteau imprimeur, la roue des types se trouve arrêtée au repère, et celle-ci n'est dégagée que quand le premier encliquetage a permis aux cliquets repoussés de prendre leur position primitive. Il résulte de cette disposition que le manipulateur doit être construit de telle manière qu'une fermeture du courant soit spécialement affectée à la réaction électro-magnétique qui doit mettre en jeu le mécanisme précédent, et c'est pour cela que ce manipulateur a 41 divisions au lieu de 40, chiffre qui correspond au nombre des signaux du récepteur.

Nous devons ajouter que le problème précédent pourrait être plus simplement résolu en opérant le déclanchement des cliquets du rochet de la roue des types et du butoir d'arrêt de celle-ci, par l'intermédiaire d'une simple bascule mise en jeu par le marteau imprimeur au moment de son retour. J'ai déjà employé un mécanisme de ce genre dans mon calendrier électrique.

Le levier du marteau imprimeur porte encore 4 contacts destinés à réagir sur les 4 appendices métalliques portés par la roue des types, mais ces contacts ne peuvent correspondre un à un à ces appendices qu'autant que le manipulateur dont le cadran porte 4 divisions correspondant à ces appendices a amené ceux-ci en leur présence entre la roue des types et le marteau imprimeur; alors, au moment où celui-ci devient

actif, le contact s'opère, et il en résulte 4 fermetures de courants locaux destinés à agir sur des sonneries indicatrices de la marche des trains, etc., etc.

Le manipulateur de ce télégraphe est, comme nous l'avons déjà dit, celui de M. Breguet qui a 41 divisions au cadran au lieu de 26, puis des contacts à bascule sous le cadran pour renverser le courant, puis enfin deux petits contacts extérieurs, que vient toucher à la volonté de l'opérateur la manette de l'appareil pour établir et supprimer la communication directe entre une station de départ et l'une ou l'autre des stations intermédiaires [1]. La description de M. Queval est tellement obscure à cet endroit qu'il est difficile de comprendre comment il résout ce problème ; toujours est-il qu'il emploie, à chaque station, un appareil à inversions de courant agissant sur un conjoncteur à mercure où aboutissent les deux bouts du fil de ligne et qui est disposé de manière que ce n'est pas le courant direct qui produit l'effet demandé. Ce premier courant ne fait que préparer, armer l'appareil, et c'est l'inversion de ce courant qui le fait agir. Nous renvoyons, du reste, le lecteur au brevet de M. Queval.

Nous ferons remarquer que presque tous les télégraphes imprimeurs imaginés depuis trois ans, y compris ceux de MM. Digney, Mouilleron, sont fondés sur le principe de celui que j'ai imaginé en 1853 et dans lequel les fonctions du mécanisme compositeur s'effectuent avec le courant dirigé dans un certain sens et les fonctions du mécanisme imprimeur avec ce même courant dirigé en sens contraire.

SYSTÈMES TÉLÉGRAPHIQUES PARTICULIERS.

Télégraphes à courants alternés de M. Regnard. — Lorsqu'on emploie de longs circuits souterrains ou sous-marins

1. Nous avons décrit page 182 de notre 3e volume un système imaginé dans le même but par MM. Wartmann et Breguet.

pour la transmission des dépêches télégraphiques, il se produit, comme nous l'avons vu, des effets d'électricité statique qui nuiraient gravement à la rapidité des signaux si l'on ne prenait les dispositions nécessaires pour s'en garantir. Le meilleur remède qu'on ait trouvé jusqu'ici pour résoudre cette difficulté, a été de procéder par le renversement du courant électrique, au lieu de le fermer et de le rompre. Les courants alternativement contraires, qui se succèdent ainsi, neutralisent les effets d'induction, et le flux électrique se propage régulièrement à chaque renversement produit par le manipulateur.

C'est ainsi que sont disposés les appareils de M. Varley, qui permettent aux télégraphes Morse établis entre l'Angleterre et la Hollande de fonctionner avec une vitesse de vingt-cinq mots par minute. Dans les dispositions adoptées par lui, le jeu de la clef fait communiquer, comme nous l'avons vu, le fil télégraphique avec le sol immédiatement après le passage du courant, et avant chaque inversion de celui-ci. On déverse ainsi en terre la charge qu'aurait acquise le fil, et l'effet statique se trouve détruit.

Quelles sont les dispositions mécaniques les plus simples à donner aux différents systèmes télégraphiques pour les mettre en situation de bien fonctionner dans les conditions précédentes, tel est le but que s'est proposé M. Regnard dans ses nouvelles recherches sur la télégraphie ; mais laissons parler l'auteur lui-même :

« Les éléments de combinaison, dit-il, fournis par l'alternation des courants comprennent :

« 1° Le nombre de courants alternés, qui entrent dans la composition d'un signal;

« 2° La durée de chacun d'eux;

« 3° Le sens du courant par lequel on commence le signal.

« Lorsqu'on procède par l'interruption d'un courant qui

agit toujours dans le même sens, on n'a d'autres éléments de combinaison que le nombre et la durée des courants qui se succèdent; or, le sens du courant initial nous fournit ici un élément de plus.

« En disposant le manipulateur de manière qu'il ne se produise pas d'interruption bien sensible entre les courants alternés qui composent les signaux, on peut employer l'interruption plus longue qui les termine à produire divers effets mécaniques; par exemple, à dégager une détente qui ramène le récepteur à un point fixe, ou bien qui anime un appareil imprimeur.

« Les dispositions que j'ai imaginées pour l'emploi des courants alternés s'appliquent aux trois principaux systèmes de télégraphie électrique adoptés aujourd'hui, c'est-à-dire au télégraphe écrivant, au télégraphe à cadran et au télégraphe imprimeur. On peut employer un relais dans chacun de ces systèmes, mais il faut que cet intermédiaire rende tous les effets que l'alternation des courants peut produire. Comme cet appareil est commun à tous les systèmes, je vais commencer par en indiquer la disposition.

« *Relais distributeur.*—XY, X'Y', AB, A'B' (fig. 16, pl. I) est le système d'aimants et d'électro-aimants qui a été décrit dans l'*Exposé des applications de l'électricité*, tome Ier, page 226. Les bras E et E' communiquent métalliquement ensemble, et se mettent en contact avec les vis d'arrêt S et T; ils portent du côté opposé une petite plaque isolante sur laquelle appuient les ressorts antagonistes R et R'. Le courant positif de la pile locale arrive aux deux ressorts R et R', et à la vis d'arrêt S. Les deux butoirs V et V' communiquent l'un avec l'électro-aimant M, et l'autre avec l'électro-aimant N; enfin la vis d'arrêt T communique avec l'électro-aimant Z.

« Si l'on envoie le courant positif dans la ligne, le pôle A de l'aimant AB est attiré, le ressort R touche le butoir V, et le courant de la pile locale est envoyé à l'électro-aimant M.

Si l'on renverse le courant dans la ligne, c'est le pôle A′ de l'aimant A′B′ qui est attiré; le ressort R′ touche le butoir V′, et le courant de la pile locale est envoyé à l'électro-aimant N. Si le circuit de la ligne est rompu, les bras E et E′ restant appuyés sur les vis d'arrêt S et T, le courant de la pile locale traverse ces deux vis et les deux bras E et E′, et arrive à l'électro-aimant Z, qui doit, comme je l'ai dit, marquer la fin du signal en produisant divers effets mécaniques.

« Ce relais distribue ainsi le courant de la pile locale à trois électro-aimants, à l'électro-aimant M par le courant positif de la ligne, à l'électro-aimant N par le courant négatif, et à l'électro-aimant Z par l'interruption du courant de la ligne.

« Pendant la succession des courants alternés qui forment un signal, les bras E et E′ oscillent en sens contraire; le second a déjà quitté la vis d'arrêt T quand le premier retombe sur la vis d'arrêt S. Il résulte de là que le circuit de l'électro-aimant Z ne se ferme que lorsque tout mouvement a cessé, et que les légères interruptions qui pourraient se produire dans la ligne à chaque renversement du courant n'affectent point cet électro-aimant.

« *Télégraphe écrivant.— Récepteur avec relais.*— Les deux électro-aimants M et N qui reçoivent le courant de la pile du relais, l'un par le courant positif de la ligne et l'autre par le courant négatif, font mouvoir deux leviers juxtaposés et terminés par deux pointes d'acier. Ces deux pointes frappent sur une bande de papier mobile comme dans les appareils aujourd'hui en usage; elles marquent des traits et des points en suivant deux lignes parallèles convenablement rapprochées. Les signaux sont formés par la combinaison des points et des traits marqués sur les deux lignes. Comme les deux pointes frappent alternativement, nous n'avons plus, il est vrai, la richesse de combinaisons que donne la télégraphie électrique à courants combinés, dont il a été parlé page 103 (tome II de l'*Exposé*), mais nous obtenons encore de fort

beaux résultats si nous admettons des traits prolongés dans le corps des signaux, comme on le fait dans le système Morse à courant simple.

« Je dispose mon alphabet de la manière suivante :

a	—	j	· _ —	s	— .
b	· . —	k	— _ ·	t	. ·
c	— _	l	· _	u	. —
d	— .	m	· . ·	v	. — .
e	.	n	· .	x	— · .
f	· _ ·	o	_ ·	y	. — _
g	— . ·	p	. · .	z	_ · _
h	— . —	q	. · _	w	_ — .
i	_	r	_ —	ch	_ — _

« Ainsi, j'envoie une seule fois le courant pour les quatre lettres *a, e, i* et *s,* deux fois pour les huit lettres *c, d, l, n, o, r, t* et *u,* et trois fois pour toutes les autres. Il suffit donc, en moyenne, de 1 mouvement 73 centièmes de mouvement pour la transmission de chacune des lettres d'une dépêche. Toutefois, comme j'introduis des mouvements prolongés dans une grande partie des lettres, il y a là une certaine perte de la vitesse, que j'avais évitée dans les télégraphes à courants combinés.

« Remarquons toutefois que, dans le système ordinaire de Morse, les traits et les points qui composent les signaux sont séparés par un intervalle, dans lequel entrent le temps de l'interruption et celui de la double course du levier qui doit frapper le papier et revenir à sa position initiale. Or, dans le nouveau système, ces pertes de temps n'existent pas, car le second levier frappe pendant que le premier revient, et le temps de l'interruption du premier courant est ainsi employé à donner un second élément de signal qui a une valeur égale

au premier, suivant le sens du courant initial, et suivant qu'on en tire un trait ou un point. Il se produit donc deux mouvements télégraphiques pendant le même temps où le système ordinaire n'en donne qu'un seul.

« L'électro-aimant Z, qui reçoit le courant de la pile du relais, comme je l'ai dit, après chaque signal, peut faire mouvoir le cylindre qui conduit la bande de papier. Il agit à cet effet par impulsion sur un rochet dont le mouvement est emmagasiné par un volant, et régularisé par un régulateur à force centrifuge. Ce régulateur peut même faire fonctionner un régulateur de courants et assurer la parfaite uniformité du mouvement de l'appareil enregistreur.

« On peut aussi faire agir l'électro-aimant Z sur un remontoire destiné à entretenir le mouvement d'un appareil d'horlogerie convenablement disposé.

« Dans toutes ces dispositions, les mobiles qui conduisent la bande de papier se mettent spontanément en marche dès que la transmission des signaux commence, et ils s'arrêtent aussitôt après qu'elle a fini. Mais comme avec cette disposition seule le circuit de la pile locale resterait fermé sur l'électro-aimant Z, pendant tout le temps que cesserait la transmission des signaux, je place à portée du régulateur à force centrifuge un rhéotome disjoncteur qui coupe le courant quand le régulateur arrive au repos, et qui le rétablit sous l'influence directe des pointes traçantes du récepteur.

« *Récepteur sans relais.* — Ce récepteur est mis en mouvement par des appareils d'horlogerie; il marche à simple ou à double échappement; sa construction ne diffère pas d'ailleurs de celle du récepteur à courants combinés décrit dans le deuxième volume de l'*Exposé*. Il n'y a de différence que dans la composition de l'alphabet.

« *Manipulateur.* — Le transmetteur de ces deux sortes d'appareils écrivants est un commutateur à renversement de pôles semblable à ceux qu'on a employés jusqu'ici dans la

télégraphie. Il peut être disposé pour que le fil conducteur se décharge dans le sol à chaque renversement du courant, comme l'a fait M. Varley.

« *Télégraphe à cadran. — Récepteur avec relais.* — Le système que je propose peut offrir deux avantages : d'une part, il tient compte du sens du courant initial, et le nombre des mouvements nécessaires pour porter l'aiguille sur la lettre indiquée est ainsi réduit de moitié ; d'autre part, l'appareil pouvant revenir dans sa position première après la transmission de chaque lettre, les erreurs ne s'accumulent pas.

« Les électro-aimants M et N, animés par le relais que j'ai décrit plus haut, agissent par impulsion sur le petit rochet R, fig. 17, pl. 1, dont l'axe porte l'aiguille indicatrice. L'impulsion de chacune des deux armatures fait avancer le rochet de deux dents, et fait ainsi passer l'aiguille sur deux lettres à la fois ; mais le cliquet supérieur *m* repose au point de départ sur une dent brisée, de telle sorte qu'il ne pousse que la dent suivante, et qu'il ne fait avancer le rochet que d'une dent à cette première impulsion. Il résulte de là que si l'on commence par faire agir l'armature *m*, le rochet avance d'abord d'une dent, et l'aiguille se porte sur la lettre E du cadran, pour passer ensuite sur les lettres I, A, O, U, etc. Si, au contraire, on commence par faire agir l'autre armature, le rochet est poussé de deux dents dès la première impulsion et porte l'aiguille sur les lettres S, N, T, R, D, etc. Cette disposition, qui place ainsi l'aiguille sur les cases paires ou sur les cases impaires du cadran, suivant le sens du courant initial, diminue de moitié le nombre des mouvements nécessaires pour indiquer chaque lettre.

« Il reste à ramener l'aiguille à son point de départ après chaque signal. Après avoir été renversé le nombre de fois nécessaire, le courant de la ligne est rompu ; le relais porte alors le courant de la pile locale sur l'électro-aimant Z, dont l'armature AB soulève à la fois les deux cliquets d'impulsion

et le cliquet de retient qui agissent sur le rochet; celui-ci revient alors dans sa position première par l'action du ressort D et de la chaînette C. Le doigt *x*, en s'arrêtant contre la vis d'arrêt E, pousse le ressort F, et rompt ainsi son contact avec la vis V. Le circuit de l'électro-aimant Z, qui passe par la vis V et le ressort F, étant rompu par ce mouvement, l'armature AB revient en place, et les cliquets retombent aussitôt sur le rochet et sont prêts à fournir un nouveau signal. Au premier mouvement qu'ils donnent au rochet, le ressort F rentre en contact avec la vis V, et l'électro-aimant Z se trouve prêt à recevoir le courant dès que le relais le lui transmettra.

« On remarquera encore ici que l'un des leviers agit sur le rochet pendant que l'autre revient en place, car le second cliquet pousse le rochet au moment même où le premier cesse d'agir. Or, dans les autres télégraphes qui marchent sous l'influence d'un simple courant et par une impulsion produite sur un rochet libre, l'armature pousse une dent au temps d'activité du courant, et revient simplement accrocher la dent suivante au temps de repos. D'un autre côté, comme avec le nouveau système, chaque impulsion fait passer deux dents, l'aiguille passe quatre lettres pour les mêmes mouvements télégraphiques qui n'en font passer qu'une seule dans les autres systèmes à rochet libre.

« Pour éviter les inconvénients des ressauts du rochet sous l'influence de l'accélération de la force attractive, j'aurais pu employer, comme on l'a fait dans l'horlogerie électrique, un cliquet d'arrêt ou de sûreté; mais, pour éviter la complication du mécanisme et les inconvénients du réglage d'un pareil système, je me suis arrêté aux dispositions suivantes, qui ne sont d'ailleurs que l'application du répartiteur électrique de M. Froment, décrit page 322 (tome Ier de l'*Exposé*) :

« L'armature A (figure 13, pl. I) est suspendue au-dessus

de l'électro-aimant M par le support mobile CD, qui est articulé en C avec l'extrémité de l'armature, et en D avec un support fixe. Le cliquet qui agit sur le rochet R forme le prolongement de cette armature; son poids est contre-pesé par le ressort y. Le support CD est incliné, comme l'indique la figure, dans un sens opposé au rochet.

« Cette disposition présente deux effets importants : d'une part, l'attraction produite par l'électro-aimant sur l'armature oblige le support CD à se rapprocher de la verticale, et donne ainsi à l'armature un mouvement longitudinal, dans lequel la force se répartit d'une manière égale. D'une autre part, l'attraction directe produite sur l'armature fait appuyer très-fortement son extrémité B contre le rochet, qui est ainsi contraint à s'arrêter brusquement au point où elle le place, quelle que soit d'ailleurs la vivacité de l'impulsion. Lorsque l'attraction cesse, le cliquet B est légèrement relevé par le ressort y et revient en place sans exercer sur le rochet aucun frottement sensible, et même, si l'on veut, sans le toucher.

« *Transmetteur.* — L'organe principal du transmetteur est une roue, que le télégraphiste fait tourner avec une manivelle, comme on le fait pour le télégraphe à cadran ordinaire. Cette roue est composée de quatre disques métalliques juxtaposés, mais séparés les uns des autres par une substance isolante; le premier communique avec le quatrième et avec le fil de la ligne; le second communique avec le troisième et avec le fil de la terre. Ces quatre disques portent des creux et des reliefs d'une égale dimension. Les reliefs du premier correspondent avec ceux du troisième, et ceux du second avec ceux du quatrième. Les pôles de la pile communiquent avec deux frotteurs, qui touchent l'un le premier et le deuxième disque, et l'autre le troisième et le quatrième. Il résulte de cet arrangement que les deux frotteurs touchent successivement le premier et le troisième

disque, puis le second et le quatrième, puis le premier et le troisième, et ainsi de suite, et que le courant est renversé à chacun de ces passages. Les frotteurs s'arrêtent au point de repos sur un intervalle isolant. La première division, qui est à droite, donne le courant positif, et celle qui est à gauche, le courant négatif; de telle sorte qu'il suffit de faire tourner la manivelle dans un sens ou dans l'autre pour commencer le signal par l'un ou par l'autre courant, et pour placer ainsi l'aiguille sur la série des cases paires, ou sur celle des cases impaires du cadran.

« Un double ressort ramène la roue en place quand le signal est terminé. Pour que le courant reste rompu à ce mouvement de retour, on le fait passer par le bras de la manivelle, qui forme un interrupteur, et qui est à cet effet relevé par un ressort. Le télégraphiste ferme cet interrupteur en appuyant sur la manivelle avec la main pour la porter sur le signal qu'il doit indiquer; le contact cesse ensuite naturellement quand il abandonne la manivelle pour la laisser revenir en place.

« Je dispose les lettres sur le cercle du manipulateur et sur le cadran, suivant l'ordre qui leur appartient, en commençant par celles qui sont le plus fréquemment employées. Ainsi, en tournant la manivelle à droite pour commencer par le courant positif, on donne successivement les lettres *e, i, a, o, u, d, m, b, f, v, j, y, k,* et en tournant la manivelle à gauche pour commencer par le courant négatif, on donne les lettres *s, n, t, r, l, c, p, q, g, h, x, z.* Il suffit d'animer le courant une seule fois pour les lettres *e* et *s*, de le renverser ensuite une fois pour les lettres *i* et *n*, deux fois pour les lettres *a* et *t*. etc. En tenant compte du fréquent emploi des lettres qui sont représentées par un ou deux mouvements, et de la rareté de celles qui sont représentées par un plus grand nombre de ces mouvements, on trouve, par le calcul, qu'il faut animer et renverser le courant quatre fois, en moyenne,

pour la transmission de chacune des lettres d'une dépêche, ce qui fait cinq mouvements en y ajoutant celui de l'interruption finale. Or, pour le télégraphe à cadran, aujourd'hui en usage, il faut, en moyenne, pour signaler chaque lettre, fermer le courant sept fois, et le rompre sept fois, ce qui fait quatorze mouvements.

« *Récepteur à cadran à mouvement d'horlogerie.*— On pourrait, pour éviter l'emploi d'un relais, faire agir directement deux armatures aimantées sur le rochet du système qui vient d'être décrit. On animerait alors l'électro-aimant Z par le courant d'une pile spéciale que l'on ferait passer par les armatures et par leurs vis d'arrêt, afin qu'il ne se fermât que quand les armatures seraient revenues toutes deux à leur position de repos. Mais je doute qu'on obtienne ainsi la force nécessaire pour agir à de grandes distances.

« Je crois qu'il vaut mieux recourir aux appareils d'horlogerie et aux ancres d'échappement ou de double échappement. Il faut alors employer une seule armature aimantée, que l'on place entre deux électro-aimants, comme on l'a fait pour supprimer le ressort antagoniste. On ne peut plus alors tirer parti du sens du courant initial; mais on peut encore tirer un grand avantage de l'interruption du courant, pour ramener l'appareil à un point de repère fixe, toutes les fois que celui qui transmet les signaux le trouve convenable.

« Lorsqu'on renverse brusquement le sens du courant d'un électro-aimant qui agit sur une armature en fer doux, cette armature n'est point affectée par le changement du courant, ni même par l'interruption très-courte qui pourrait avoir lieu. Elle ne revient en place que lorsque l'interruption persiste un temps suffisant. Cet effet s'obtient d'une manière certaine, si l'on emploie un électro-aimant d'un grand diamètre, avec une armature pesante qui n'est plus rappelée par un ressort antagoniste, mais par un contre-poids qui forme une espèce de balancier. Je profite de cette propriété

pour réaliser le problème de la remise de l'aiguille au repère.

« Pour cela, je fais passer le courant de la ligne sur les deux électro-aimants, qui agissent sur l'armature aimantée et sur un troisième électro-aimant disposé comme je viens de le dire ; son armature soutient le pivot de l'axe de l'ancre d'échappement, et lorsqu'elle s'éloigne de l'électro-aimant, elle dégage cette ancre des dents du rochet, qui tourne ainsi librement jusqu'à ce qu'une cheville plantée sur son côté vienne butter contre une pièce d'échappement adaptée sur l'armature. Le rochet est ainsi ramené à un point fixe marqué par la position de la cheville.

« Dès qu'on envoie le courant, l'armature en fer doux étant attirée échappe la cheville, et engage par le même mouvement l'ancre d'échappement, qui oscille par le renversement du courant jusqu'à ce qu'on l'arrête sur le signal indiqué. On peut ensuite passer de là à un second signal en continuant à renverser le courant. Il suffit de rompre le circuit, en soulevant le bras de la manivelle du transmetteur, quand on veut ramener le rochet au point de repère ; l'ancre étant alors dégagée, le rochet saute d'un seul coup contre la pièce d'échappement disposée pour arrêter la cheville.

« Le rochet est ainsi soumis à deux systèmes d'échappement à la fois. Le premier est gouverné par l'armature aimantée ; il marche par la succession des courants alternés, et agit sur les dents du rochet pour arriver au signal voulu. Le second est gouverné par l'armature en fer doux ; il marche par la fermeture et la rupture du courant, et forme une espèce d'ancre dont un bras porte l'axe de l'ancre du premier système, et dont l'autre bras arrête la cheville de repère plantée sur le côté du rochet.

« Ces dispositions apporteraient encore un perfectionnement important au système à cadran qui est en usage pour les chemins de fer. L'employé ne serait plus obligé de faire

faire à l'aiguille tout le tour du cadran pour répéter la même lettre, ou pour donner les lettres précédentes. Il marcherait de signal en signal, quand il verrait en avant la lettre à indiquer; et quand il la verrait en arrière, il romprait le courant pour revenir d'un seul coup au point de départ. Comme le récepteur serait à tout instant ramené à un point fixe, les erreurs ne se perpétueraient pas. »

« *Télégraphe imprimeur.*— Le récepteur de ce système télégraphique est construit d'après les mêmes dispositions que le récepteur à cadran que j'ai décrit plus haut. Les électro-aimants M et N, fig. 15, pl. I, animés par la pile du relais agissent de même par impulsion sur un rochet qui porte, au lieu d'une aiguille, une roue autour de laquelle sont disposés des caractères d'imprimerie qui sont encrés par de petits rouleaux placés à droite et à gauche. La lettre à imprimer est amenée devant un repère par la succession des courants alternés. Mais en ce moment, le courant de la ligne étant rompu, le relais transmet le courant de la pile locale au rhéotome distributeur K, qui le transmet d'abord à l'électro-aimant Z par son contact avec le ressort L. L'armature Q de cet électro-aimant appuie par la tige flexible P sur le tampon T, qui presse la bande de papier mobile contre le type qui est placé dessous, et imprime ainsi la lettre. La tige P fléchissant légèrement après avoir produit cet effet, la tringle *t* attrape, à la fin de la course de l'armature Q, le ressort rhéotomique K qui quitte le ressort L pour se mettre aussitôt en contact avec le ressort I. Le courant passe ainsi à l'électro-aimant Z′, son armature A étant attirée, appuie d'abord sur le ressort K pour soutenir son contact avec le ressort I, puis elle soulève les cliquets pour ramener le rochet dans sa position première; à la fin de son mouvement de retour, le rochet agit sur le système rhéotomique constitué par le ressort F et la vis d'arrêt V, pour rompre le courant en cet endroit; les cliquets retombent alors contre

le rochet, et l'appareil est prêt à conduire une nouvelle lettre sous le tampon.

« Le déplacement progressif de la bande de papier s'opère sans qu'il y ait besoin d'un appareil spécial pour lui donner le mouvement. Elle est enroulée en provision sur une grande bobine O retenue par un petit frein ; elle passe de là sous le tampon, puis entre les deux cylindres G et H qui la tirent d'une quantité convenable après l'impression de chaque lettre. A cet effet, un rochet est placé sur l'axe du cylindre G ; un crochet adapté sur l'armature Q pousse une dent à chacun de ses mouvements de retour et pour former l'intervalle des mots, on fait frapper le tampon à faux sur une division de la roue qui ne porte pas de type.

« C'est ainsi que la pile locale donne le mouvement à tout le système, sans aucun mouvement d'horlogerie. Le relais envoie son courant par la succession des courants alternés de la ligne aux deux électro-aimants qui font tourner le rochet pour amener sous le tampon les lettres à imprimer. Le courant de la ligne étant alors rompu, le relais envoie le courant à un premier électro-aimant qui fait imprimer la lettre, en appuyant sur le tampon, puis à un second électro-aimant qui décroche les cliquets et replace le mécanisme dans sa position première. »

Moyens proposés par M. Regnard pour rendre les dépêches secrètes. — « La télégraphie aérienne, dit M. Regnard, assurait le secret des correspondances par la multiplicité des signaux qui représentaient des mots et même des phrases tout entières. Les employés des stations transmettaient et recevaient la dépêche sans la comprendre. Il fallait, pour la traduire, être en possession des volumineux vocabulaires que les frères Chappe avaient élaborés avec tant de peine.

« En employant exclusivement les lettres de l'alphabet ou quelques signaux qui les représentent, la télégraphie électrique livre les dépêches à la connaissance de tous ceux qui

sont employés à leur transmission. Le gouvernement ne peut ainsi adresser un avis à ses hauts fonctionnaires en France ou à l'étranger, sans que cet avis soit connu de tous les employés des stations télégraphiques que la dépêche a traversées, et les personnes qui ont recours à la télégraphie privée sont aussi obligées de livrer à découvert le contenu des dépêches qu'elles envoient.

« On pourrait peut-être rendre les dépêches secrètes en compliquant les signaux de la télégraphie électrique comme l'étaient ceux de la télégraphie aérienne. Mais il importe de conserver à son alphabet toute sa simplicité, parce que c'est d'elle que dépend la célérité de la transmission des correspondances. Il faut donc chercher ailleurs le moyen d'arriver au but. J'ai pensé que le moyen le plus simple et le plus sûr serait de disposer les lettres des dépêches dans un certain ordre indiqué par un nombre convenu entre l'expéditeur et le destinateur, et connu d'eux seuls. Ce nombre constituerait ce que j'appellerai la *clef de la dépêche secrète*. Il n'y aurait dès lors que celui qui connaîtrait ce nombre, qui pourrait rétablir les lettres dans leur ordre véritable, comme il n'y a que celui qui connaît le mot sur lequel une serrure à combinaisons a été fermée qui puisse l'ouvrir.

« La dispersion des lettres d'après un nombre peut avoir lieu de plusieurs manières. Je me borne à indiquer celles qui paraissent les plus simples.

« 1er *système par séries sur une seule ligne*. — Les lettres de la dépêche, au lieu d'être placées dans leur ordre naturel, sont disposées suivant un ordre indiqué par les chiffres du nombre convenu et par séries égales à la somme de ces chiffres. Si nous convenons, par exemple, du nombre 3542, les séries comprendront quatorze lettres. La première lettre de la dépêche sera écrite au 3e rang, la seconde au 5e rang à partir de celle-ci, la troisième au 4e rang à partir de la précédente, et la quatrième au 2e rang qui suivra et qui terminera

la première série. On place ensuite les dix autres lettres de cette série dans les intervalles laissés par les quatre premières qui servent pour ainsi dire de jalons, et on les distribue d'un intervalle à l'autre (par mêmes numéros d'ordre) jusqu'à ce que tous soient remplis. On forme une seconde série avec les quatorze lettres suivantes, puis une troisième, et ainsi de suite. On ajoute quelques lettres inutiles pour compléter la dernière série, s'il y a lieu. On peut marquer la fin de chaque mot par un point.

« Je suppose, pour me faire bien comprendre, qu'il s'agit de transmettre secrètement les phrases qui suivent :

Les . Français . ont . pris . d'assaut . Malakoff. Sébastopol . est . en . leur . pouvoir .

« Elles se disposeraient ainsi sur les chiffres du nombre 3542 :

f c l r a s o e a i . s n . r d n i a s u t s s a . .
p l f t a f s b . k , e m o a p c a o s . n s l t e t .
o r u . · v i . l p o r e o u ——

« Pour traduire la dépêche, le destinataire commence par compter les lettres en séparant les séries à l'encre rouge. Il pointe ensuite les lettres indiquées par les chiffres du nombre; ces lettres lui servent de jalons pour dégager les autres, et la traduction se fait alors sans aucune difficulté.

« 2e *système par séries sur plusieurs lignes.* — Au lieu de placer les lettres les unes à la suite des autres sur une seule ligne horizontale, on les dispose verticalement sur un nombre de lignes convenable. Les lettres de la première série se placent ainsi au commencement des lignes; celles de la seconde série sont disposées à la suite dans le même ordre, puis celles de la troisième, et ainsi des autres. Les séries marchent pour ainsi dire de front sur un nombre de lignes égal à celui des lettres qui les composent. On place

ainsi dix, vingt ou trente séries, puis on recommence une nouvelle période.

« 3e *système par dizaines sur un certain nombre de lignes.* — La clef de la dépêche comprend deux nombres : les chiffres du premier indiquent dans quel ordre les lettres sont disposées sur un nombre de lignes égal à celui de ces chiffres ; le second indique à quel rang se trouve la première lettre placée dans chaque ligne qui comprend dix lettres. Les neuf autres se placent à la suite de celle-ci jusqu'à ce que les dizaines soient entièrement remplies.

« Ainsi, si nous prenons pour clef les nombres 2143 et 5728, la première lettre de la dépêche se placera au 5e rang sur la 2e ligne ; la seconde au 7e rang sur la 1re ligne ; la troisième au 2e rang sur la 4e, et la quatrième au 8e rang sur la 3e. Ces quatre premières lettres servent de jalons pour la distribution des autres, et comme le nombre des dizaines est égal à celui des chiffres des nombres de la clef, la série tout entière comprendra quarante lettres. On emploie le chiffre 0 pour la 10e ligne ou le 10e rang. On peut comprendre dans chaque série jusqu'à cent lettres.

« Dans ce système, les phrases que nous avons prises pour exemples seraient disposées de la manière suivante sur les nombres 2143 et 5728, en deux séries.

p	.	s	.	a	f	e	r	a	o
s	t	l	f	l	f	c	.	.	s
t	i	a	u	a	o	s	.	n	s
l	s	a	i	n	r	d	a	m	k
l	.	v	.	n	.	b	o	.	.
u	r	i	o	e	t	l	t	.	r
n	u	o	i	f	.	a	s	o	s
i	a	p	e	e	e	p	o	.	v

« Ce moyen de voiler la dépêche en dispersant les lettres suivant un ordre indiqué par un nombre est d'un emploi sûr et facile pour les correspondances écrites de la guerre ou de

la diplomatie. Le papier rayé verticalement que fournit le commerce faciliterait le placement des lettres, qui se ferait sans qu'il fût besoin de compter les rangs et sans qu'il y eût de chances d'erreur.

« Pour la transmission télégraphique, il ne faudrait pas se borner à donner les lettres sans précaution dans leur ordre mystérieux ; le défaut d'une seule pourrait rendre la traduction impossible. Pour éviter cet obstacle et agir avec une sécurité suffisante, il suffirait d'envoyer la dépêche par groupes séparés de dix lettres. L'expéditeur fournirait les lettres de la dépêche préalablement groupées par dizaines. Après la transmission de chaque dizaine, on donnerait un signal qui marquerait la séparation des groupes. De cette manière les erreurs, qu'il est difficile d'éviter, ne se perpétueraient pas d'une dizaine à l'autre, et n'apporteraient pas d'obstacle sensible à la traduction de la dépêche. »

Télégraphe-électro-globotype de M. Callum. — On voyait dernièrement, à l'exposition de la Société des arts, de Londres, un nouvel appareil télégraphique, nommé par son auteur télégraphe globotype, à cause des petites balles de diverses couleurs qu'il emploie. « Dans l'appareil en question, dont nous empruntons la description au *Pratical Mecanic's Journal,* on fait usage de trois sortes différentes de balles de verre, et l'action électrique transmise par les fils force ces balles à sortir de leurs réservoirs dans l'ordre qu'indique la dépêche envoyée, et conformément à une table convenue d'avance. Les balles ainsi lancées courent le long de plans inclinés, dans des coulisses rangées derrière un cadran de verre, de telle sorte qu'elles peuvent être lues avec facilité, non-seulement au moment où elles sont lâchées, mais aussi longtemps qu'elles peuvent être retenues derrière le cadran.

« L'appareil comprend plusieurs dispositions ingénieuses, parmi lesquelles il faut remarquer les détentes servant à lâcher les balles. Il est préférable que les balles de verre soient de

trois couleurs différentes, et qu'elles diffèrent aussi légèrement les unes des autres en grosseur, dans le but de les séparer ou de les distribuer lorsqu'on s'en est servi pour former les combinaisons formant la dépêche.

« Les balles sont séparées dans une boîte à laquelle sont adaptés deux diaphragmes ou faux fonds, dont le plus bas est percé de manière à permettre le passage seulement aux balles du plus petit calibre. Le diaphragme supérieur est percé de trous plus grands, qui laissent passer les balles du second calibre, tandis que les plus grosses restent retenues au sommet. Les balles, alors qu'elles sont mélangées, sont placées au sommet de la boîte, que l'on agite jusqu'à ce que les plus petites aient trouvé leur route à travers les diaphragmes pour gagner leurs compartiments respectifs. On peut préparer plusieurs cadrans pour recevoir les balles de la dépêche, afin que lorsque l'une est prête, l'autre puisse être mise en mouvement; de cette manière on peut garder les cadrans sans les déranger tout le temps nécessaire pour relire la dépêche, si cela est jugé indispensable. »

Télégraphe transatlantique. — On a fait tant de versions contraires sur les résultats fournis par le télégraphe transatlantique, on a commis tant d'inexactitudes dans les journaux, que M. l'abbé Moigno, le savant rédacteur du *Cosmos*, a cru devoir demander à M. Thomson, l'un des ingénieurs chargés des travaux et des expériences que l'on fait sur cette ligne, quelques renseignements exacts. Voici la réponse qui a été faite par M. Thomson, et qui a été insérée dans l'un des derniers numéros du *Cosmos*. On y verra que les faits avancés dans le *Journal des Débats* par M. Babinet sont complétement controuvés, et que M. Babinet avait été mal renseigné.

« Je me suis empressé de recueillir les faits dont j'avais besoin pour vous répondre, et je puis maintenant vous assurer que vous avez été parfaitement exact en affirmant que

les 99 mots du message de la reine ont passé à travers le câble en 69 minutes. Il est vrai que la transmission de ce message a été une opération longue et ennuyeuse; elle a duré 18 heures; mais cela tenait uniquement à la grande difficulté avec laquelle alors on interprétait les signaux à Terre-Neuve. Quand nos correspondants eurent reçu l'ensemble complet des signaux, ils les répétèrent et les renvoyèrent à Valentia, en épelant complétement chaque mot, et cette *répétition ne dura que* 68 *minutes*, en y comprenant le signal initial *attents*, et le signal terminal *finis*, sans qu'il y eût eu aucune erreur. La vitesse moyenne de transmission était alors d'un mot et demi par minute pour les dépêches envoyées de Terre-Neuve à Valentia, et souvent cette vitesse a été considérablement plus grande. *Soixante-seize mots*, formant le message des directeurs de New-York's, New-Foundland's et London's Telegraph Company aux directeurs de Atlantic Telegraph Company, furent transmis en 36 *minutes* de Terre-Neuve, et reçus sans faute à Valentia. Le 20 août, une courte dépêche de 13 mots, contenant 60 lettres, fut transmise et parfaitement lue à Valentia en 7 minutes.

« Pendant que les dépêches étaient reçues avec une si bonne vitesse, et lues si facilement à Valentia, on éprouvait, au contraire, une très-grande difficulté à communiquer avec Terre-Neuve, à travers le câble; et, jusqu'au 20 août, la vitesse d'un demi-mot par minute fut rarement atteinte; il est douteux même qu'on l'ait obtenue. La nuit qui précéda le 20, on répondit de Terre-Neuve par l'affirmative à une dépêche ainsi conçue : *Lisez sur le galvanomètre Thomson.* Le 21 août, nous sûmes qu'ils avaient introduit mes instruments dans le circuit. Leur dépêche était : *Land galvanometer un circuit, signals beautiful.* Immédiatement après, nous leur envoyâmes une dépêche de 35 mots, qu'ils comprirent d'un seul jet; et, à partir de ce moment, ils reçurent les communications avec la même facilité que nous, sans que jamais la

vitesse de transmission fût inférieure à celle d'un mot par minute.

« A Valentia, dans la nuit du 9 août, lorsque les lettres et les mots commencèrent pour la première fois à venir par le câble, je plaçai un de mes galvanomètres de terre dans le circuit, et j'appelai l'attention de M. Whitehouse sur sa valeur comme appareil récepteur des signaux de Morse. Je partis le matin suivant pour Glascow et Londres, et revins le 21 à Valentia. Je trouvai mon galvanomètre régulièrement installé, et j'appris que toutes les dépêches expédiées avaient été lues sur cet instrument. Les deux premiers jours, le 10 et le 11, on mit aussi le relais de M. Whitehouse dans le circuit, et plusieurs lettres furent reçues par lui; mais M. Whitehouse lui-même se résigna à l'abandonner, tant l'avantage était grand en faveur du galvanomètre. Durant la nuit qui suivit le 21, nous transmîmes cette dépêche : « Servez-vous du galvanomètre Thomson. » Nous la renouvelâmes chaque jour, mais sans recevoir aucune réponse, jusqu'au 29 août, jour à partir duquel mes instruments fonctionnèrent aux deux extrémités.

« Après différents essais tentés le 10 et le 11, l'emploi à Valentia des bobines d'induction fut abandonné, et une pile de Daniell à poussière de bois fut forcément mise en train comme le seul moyen efficace de transmission, à l'autre extrémité du circuit, de signaux intelligibles. A partir du 11 août, cette pile fut exclusivement employée, à l'exception de quelques nouveaux essais de bobines qui donnèrent les mêmes résultats négatifs. Depuis que la ligne a failli, de grands appareils magnéto-électriques ont été mis en réserve par M. Henlay; mais rien n'a encore appris qu'il ait réussi à transmettre des signaux. Depuis le début de l'entreprise, je n'ai pas cessé de conseiller et de défendre l'usage exclusif des piles de Daniell comme grandement préférable aux bobines d'induction pour la transmission de signaux quelcon-

ques à travers un long câble sous-marin ; mais le système de M. Whitehouse était une des bases sur lesquelles la compagnie du télégraphe atlantique avait été fondée, et le savant physicien ne voulut jamais admettre qu'un autre système de courants pût procurer les mêmes avantages que le courant d'une bobine d'induction bien construite. Il paraît cependant que ma pile installée à Terre-Neuve a réussi à transmettre une communication parfaitement distincte : « Daniell dans le circuit » à travers le câble, alors que depuis sept semaines tous les appareils d'induction avaient été impuissants à transmettre un seul mot intelligible.

« En ce qui concerne les instruments actuellement en usage aux deux stations, voici en quelques mots l'état des choses : à Valentia, tout le travail a été fait par ma pile et mon instrument récepteur. Aucune dépêche n'a été envoyée autrement, Chaque lettre, chaque mot, chaque dépêche, ont été lus exclusivement sur mon galvanomètre. Aucune dépêche complète n'a été reçue par le relais, qui n'a permis de déchiffrer que des lettres, des portions de mots, tout au plus un petit nombre de mots. Terre-Neuve, jusque dans les derniers jours, a expédié les dépêches par une bobine d'induction de M. Whitehouse, et jusqu'au commencement de septembre, alors que la ligne a failli, nous avons lu sans difficulté tous les signaux. A Terre-Neuve aussi on se servit d'abord des instruments Whitehouse pour recevoir les dépêches; mais on réussit très-difficilement et très-rarement à les déchiffrer complétement, jusqu'à ce qu'on se rendit à l'invitation de lire sur le galvanomètre Thomson. On ne réussit jamais à deviner les indications du relais; et tout ce qui fut déchiffré avec l'introduction du *Land galvanomètre* fut lu, je crois, sur un galvanomètre ordinaire de télégraphe. »

Pour terminer avec ce chapitre de la télégraphie électrique, je signalerai comme exemple des absurdités qui peuvent naître dans un cerveau malade et qu'on accepte pourtant aux

brevets d'inventions, un télégraphe imaginé par un M. B. qui rivalise avec le fameux télégraphe escargotique dont on a tant parlé.

« Dans chaque station dit l'auteur, vous avez une boîte rectangulaire, au fond de laquelle vous mettez des sels produisant le courant; sur ces sels vous mettez un verre, puis une plaque de cuivre ; sur la plaque vous placez l'écriture qu'il s'agit de transmettre, vous fermez la boîte et 30 secondes après tout est gravé sur la plaque de cuivre de l'autre station. »

TRANSMISSIONS SIMULTANÉES.

Nous avons consacré dans notre troisième volume un chapitre tout entier aux transmissions simultanées s'appliquant à deux dépêches échangées entre deux stations opposées. Aujourd'hui le problème a été étendu, et on a voulu arriver à transmettre simultanément d'un même poste (à travers le même fil) deux ou plusieurs dépêches différentes à deux ou plusieurs stations échelonnées sur une même ligne télégraphique. MM. Duncker et Starke ont proposé à cet effet des systèmes que nous allons examiner, et qui ont même été expérimentés avec succès.

Système de M. Duncker. — Dans le système de M. Duncker, qui est le plus complet, les dépêches sont d'abord expédiées par des manipulateurs en communication avec des piles de force régulièrement croissante comme les chiffres 1, 2, 3, 4, etc.; puis on établit aux stations de réception avant le relais du récepteur un appareil auquel M. Duncker donne le nom de *distributeur*, et dont le principe est à peu près le même que celui de l'appareil de M. Wartmann, que nous avons décrit page 182 de notre troisième volume. Nous représentons ci-dessous ce distributeur.

Cet appareil consiste dans une série de marteaux de fer doux, *a, b, c* (fig. 36 et 37), en nombre égal à celui des stations

avec lesquelles on doit correspondre, et qui sont interposés entre les pôles d'un électro-aimant E, de manière à pouvoir subir de leur part une double réaction en sens contraire. Ces marteaux sont fixés à l'extrémité de tiges articulées oscillant entre deux appendices à ressort *e* et *d*, lesquels sont mis en relation, du moins pour le marteau *a*, l'un *e* avec la terre, l'autre *d* avec le relais. Des ressorts antagonistes et des

Fig. 36. Fig. 38. Fig. 37.

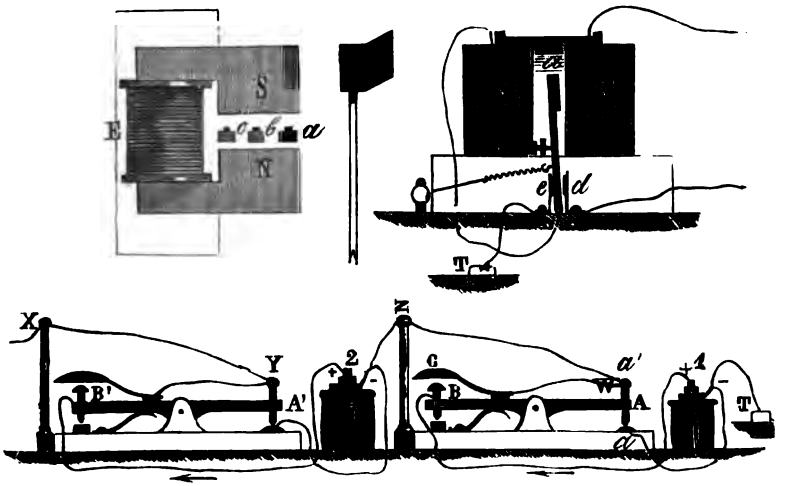


Fig. 39.

butoirs d'arrêt rappellent ces marteaux dans une position fixe, mais la tension des ressorts est différente pour chaque marteau, et se trouve mise en rapport avec les forces croissantes des piles différentes appelées à réagir sur le distributeur. Il résulte de cette disposition que si le fil de l'électro-aimant communique avec le fil de ligne et la tige de ces marteaux, ceux-ci pourront être attirés, mais dans des conditions différentes et dépendantes de l'énergie de la force électrique transmise. Ainsi *a* pourra être attiré lorsque la

force de la pile électrique sera représentée par 1, tandis que *b* ne pourra l'être que quand cette force électrique sera représentée par 2. Dans tous les cas, par suite d'une disposition particulière que nous indiquerons, il n'y aura jamais qu'un marteau d'attiré à la fois, et la tige de ce marteau, en réagissant sur l'appendice *d*, opérera les liaisons métalliques nécessaires pour la transmission simultanée. Comment cette tige pourra-t-elle atteindre cet appendice alors que le courant qui anime l'électro-aimant E aura cessé de circuler par suite de l'écartement du marteau de sa position initiale ? C'est ce que l'on comprendra facilement si l'on considère que l'appendice *d* est très-rapproché de la tige des marteaux, et que l'appendice *e* accompagnant celle-ci dans une partie de sa course lui permet d'acquérir une quantité de mouvement suffisante pour vaincre la solution de continuité entre *e* et *d*.

Quant aux liaisons métalliques que doivent établir les tiges des marteaux *a*, *b*, *c*, etc., elles sont assez complexes, et nous ne les considérerons que pour trois marteaux seulement ; elles peuvent d'abord mettre la ligne en rapport avec le relais de la station où se trouve le distributeur ; mais il faut pour cela qu'un commutateur particulier avec lequel les appendices *d* sont en relation permette leur liaison avec ce relais ; autrement, en temps ordinaire, l'appendice *d* du marteau *a* correspond seul à ce relais, tandis que l'appendice *d* du marteau *b* correspond au fil de ligne, et l'appendice *d* du marteau *c* à la fois au fil de ligne et au relais. Sur cette dernière communication est interposée une bobine de résistance dont l'utilité sera expliquée plus tard.

Quand le courant envoyé représente une force électrique faible, on comprend facilement qu'il n'y aura d'attiré par l'électro-aimant E que le marteau, dont la résistance à l'action électro-magnétique sera en rapport avec la force électrique transmise. Mais quand ce courant est assez fort pour

vaincre une beaucoup plus grande résistance, deux ou plusieurs marteaux peuvent être attirés à la fois. Or, nous avons vu qu'il était nécessaire qu'il n'y en eût jamais qu'un seul de suffisamment attiré pour réagir sur les appendices *d*. Pour obtenir cet effet, M. Duncker avait pensé d'abord à adapter à ces marteaux un petit volet *x*, fig. 36, placé du côté du marteau voisin le moins résistant, et devant s'interposer entre l'électro-aimant et ce dernier marteau; mais pour des raisons sur lesquelles nous ne nous étendrons pas, M. Duncker a supprimé ces volets, et c'est un rhéotome combiné avec des piles locales *ad hoc* qui intervient pour arrêter ces marteaux en temps convenable. Nous ne nous arrêterons pas à ce système rhéotomique, car il peut être considérablement simplifié; toujours est-il que par un moyen ou par un autre le problème peut être facilement résolu.

Pour terminer avec ce distributeur, il nous reste à expliquer les raisons de la disposition des marteaux entre les deux pôles de l'électro-aimant E. Si on a bien saisi la description précédente, on aura pu comprendre que toute la régularité du jeu du distributeur dépend du rapport exact existant entre l'intensité des courants transmis et la résistance des marteaux à l'action magnétique. Or, nous savons qu'une intensité électrique d'une valeur constante est impossible à obtenir. Si les marteaux n'avaient eu pour régler leur résistance que leurs ressorts antagonistes, l'appareil en question n'aurait donc jamais pu fonctionner d'une manière régulière. Mais par la disposition des marteaux entre les pôles de l'électro-aimant E, il n'en est plus ainsi; car deux réactions contraires sont exercées sur eux. Il est vrai que, par suite du plus grand rapprochement des marteaux du pôle N, l'action de ce pôle est prépondérante; mais la réaction du pôle S n'en intervient pas moins, et cette intervention s'effectue dans le sens des ressorts antagonistes. Si donc la force électrique destinée à agir sur le marteau *b*, je suppose, est plus

forte que celle qui aurait dû lui correspondre d'après le réglage de son ressort antagoniste, la force contraire, venant en aide à ce ressort, est aussi plus forte, et l'irrégularité se trouve corrigée. Si, au contraire, la force électrique est trop faible, la force antagoniste devient plus faible, et la cause d'irrégularité se trouve détruite. Ce système est, comme on le voit, très-ingénieux et peut être appliqué d'une manière très-avantageuse aux relais pour éviter le réglage des ressorts antagonistes.

Au moyen du distributeur que nous venons de décrire, une station intermédiaire peut donc, sans préjudice des autres avantages que nous allons étudier, recevoir directement une dépêche de diverses stations et savoir par le numéro d'ordre du marteau mis en action celle de ces stations qui a parlé; car les piles de ces diverses stations peuvent être combinées par rapport aux diverses résistances de la ligne, de manière à réagir isolément sur les différents marteaux de l'appareil. Nous allons voir à l'instant que ce même système permet la transmission simultanée de deux dépêches. Mais auparavant il est essentiel d'étudier la forme du manipulateur que M. Duncker a combiné à cet effet.

La fig. 39 représente deux manipulateurs de ce genre, et ces manipulateurs ayant chacun leur pile doivent être en nombre égal à celui des stations avec lesquelles on veut correspondre simultanément. AB est un levier-clef de Morse dont l'extrémité B porte une vis-butoir isolée communiquant au pôle positif de la pile correspondante, et dont l'extrémité A se termine par une tige a, a', appuyant à l'état ordinaire contre un butoir métallique a en rapport avec le pôle négatif de la même pile. Au-dessus de la vis B se trouve une touche à ressort C, reliée par un fil à la tige aa', laquelle est reliée elle-même au second manipulateur et à la pile de ce manipulateur, comme on le voit sur la figure. Du reste, pour un plus grand nombre de manipulateurs les liaisons

métalliques seraient les mêmes, et c'est en X qu'aboutit toujours le fil de ligne.

La marche du courant dans ces appareils se comprend aisément. Quand ils sont à l'état de repos, le fil de ligne est en relation directe avec les récepteurs et la terre par le circuit X, Y, Z, W, T, qui se trouve alors complet. Le récepteur interposé entre T et W peut donc recevoir les dépêches. Si on abaisse la clef AB au moyen de la touche C, le pôle positif de la pile n° 1 arrive en W par le contact de C avec B, et le courant suit le circuit W, Z, Y, X, entre dans la ligne et revient à la pile par T; il réagit sur celui des distributeurs des stations échelonnés sur cette ligne dont la résistance des marteaux est en rapport avec sa tension. Ce sera, je suppose, celui de la station B, et ce sera le marteau *a* fig. 36 qui sera mis en jeu. Supposons maintenant que la clef AB soit revenue à son état normal, et que la clef A′ B′ soit abaissée, le courant de la pile n° 2 (deux fois plus forte que celle n° 1) ira de Y en X, de là par le fil de ligne au distributeur de la station B, où il provoquera l'abaissement du marteau *b*; comme ce marteau établit la communication directe avec la station suivante C, le courant réagira sur le relais de cette station, sans avoir aucun effet sur celui de la station B, attendu que l'abaissement du marteau *b* a empêché le marteau *a* de fonctionner. Quand donc les deux clefs agiront séparément, les deux stations B et C pourront recevoir des signaux différents sans aucun dérangement. Voyons maintenant ce qui arrivera quand les deux clefs fonctionneront en même temps : le courant envoyé résultera alors des deux piles 1 et 2 réunies en tension, car il suivra le circuit suivant : + de la pile 1 WZ — de la pile 2 + de cette même pile Y X fil de ligne T et — de la pile 1 ; il aura donc pour effet de faire fontionner le marteau *c* du distributeur de la station B. Mais ce marteau n'ayant pour effet

1. Le retour de ce courant se ferait par T à WZ.

que d'établir une dérivation du circuit sur le relais de la station B, une partie du courant ira en B, l'autre en C ; et si une résistance convenable est interposée dans la dérivation, les relais des stations B et C fonctionneront comme s'ils recevaient également le courant qui les avait mis en jeu, alors que les manipulateurs avaient fonctionné séparément. Aussi quels que soient les mouvements exécutés en même temps par l'un ou l'autre des manipulateurs, les réactions électriques produites ne peuvent se détruire réciproquement et arrivent forcément à leur destination.

Nous n'avons jusqu'ici raisonné que pour deux manipulateurs, mais il est facile de comprendre qu'il en serait de même pour 3, 4, 5 ; seulement les marteaux des distributeurs seraient plus nombreux et les réactions produites seraient plus compliquées, pour se prêter aux combinaisons qui pourraient résulter des accouplements de piles plus nombreuses.

Système de M. Starcke. — Le système de M. Starcke est vraisemblablement fondé sur le même principe que celui de M. Duncker, car il emploie également des manipulateurs ou clefs en nombre égal à celui des stations, des piles de tension différente et des relais dont les armatures sont inégalement résistantes à l'action électro-magnétique. Mais j'avoue que malgré les dessins qui m'ont été communiqués et que nous reproduisons, fig. 40 ci-contre, je n'ai jamais pu comprendre le mode de fonctionnement des appareils. Ce que je peux dire pour satisfaire la curiosité du lecteur, c'est que les clefs portent un appareil à ressort formant conjoncteur et disjoncteur du courant au-dessous de la bascule, et que ces disjoncteurs et conjoncteurs réagissent sur les courants individuels de trois piles particulières réunies pourtant entre elles. Je renvoie du reste les amateurs que cette question intéresse au mémoire de M. Starcke, ou à l'article de M. Dorville inséré dans le n° de la *Science* du 23 août 1857.

Puisque nous faisons un article spécial des transmissions

simultanées, il nous semble à propos de revenir un peu sur les transmissions en sens contraire en décrivant le système

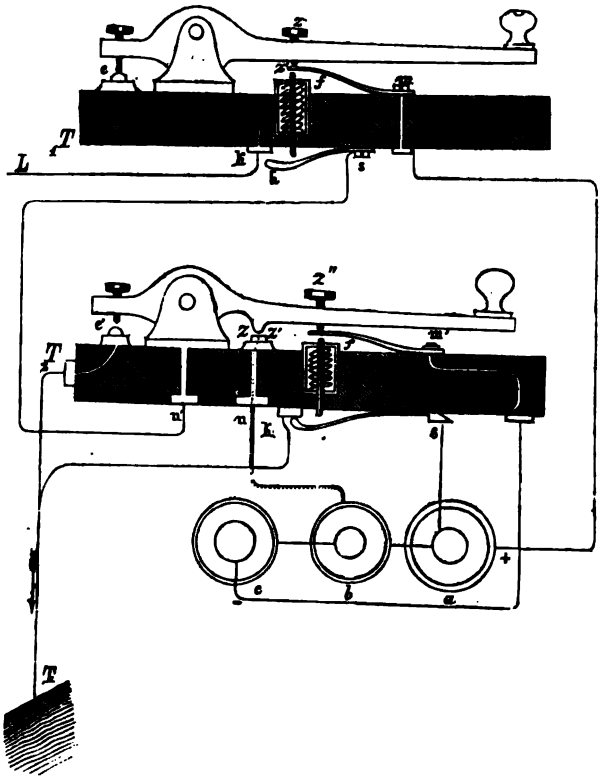


Fig. 40.

de M. Siemens, que nous avions omis dans notre troisième volume faute de renseignements suffisants, et qui, du reste, se rapproche considérablement de ceux que nous avons déjà décrits. Nous empruntons, du reste, la description qui va suivre à la dernière édition de la *Physique* de M. Pouillet.

Mais, pour qu'on puisse la comprendre, nous devons dire tout d'abord que les relais employés dans ce système de double transmission sont ceux de M. Siemens que nous avons décrits p. 170 de notre troisième volume, et dans lesquels l'armature de l'électro-aimant est constituée par deux pièces de fer qui forment comme l'épanouissement de chaque pôle de l'électro-aimant, comme on le voit, du reste, en *u*, *u'*, *v*, *v'*, fig. 41 ci-dessous.

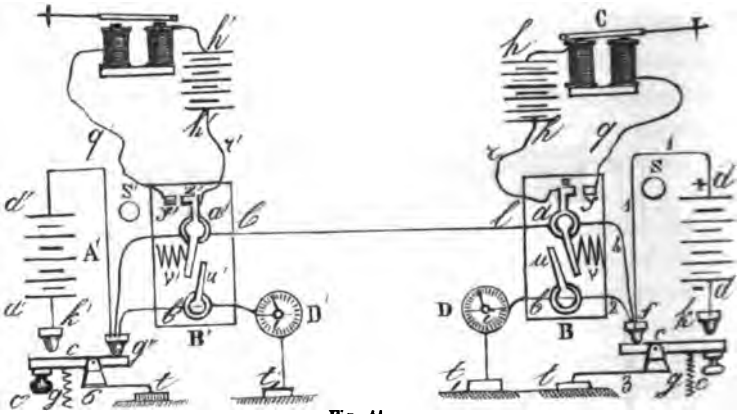


Fig. 41.

« Dans cette figure A, B, C, D, sont les quatre appareils de la première station S;

« A', B', C', D', sont les quatre appareils semblables de la dernière station S';

« *l* est le fil de la ligne; il peut avoir par conséquent plusieurs centaines de kilomètres de longueur;

« *t*, t_1, *t'*, t'_1, sont les points par lesquels A et D de S et A' et D' de S' communiquent avec la terre.

« A se compose de la *clef* ou *touche* de bronze *c*, dont l'axe de rotation communique à la terre par le fil 3, de ses deux arrêts *k* et *f*, auxquels aboutissent les deux pôles de la bat-

terie *d*, qui est la batterie de la ligne ; au repos, le ressort *g* tient la touche en contact avec *f*; mais il suffit de la presser des doigts pour qu'elle se sépare de *f* et vienne frapper *k*.

« B est le relais dont nous avons parlé.

« C se compose de l'appareil qui exécute les signes, de sa batterie spéciale *h* et de ses deux fils qui vont au relais ; c'est en général un appareil du système de Morse, mais il pourrait aussi bien appartenir à un autre système ; c'est pour cela qu'il est simplement représenté ici par un électro-aimant avec son armature.

« D est la résistance ; c'est un assemblage de bobines chargées de fils très-fins formant rhéostat par le mouvement de l'aiguille *i*; on peut successivement en introduire des longueurs graduées dans le circuit, afin de composer par là une résistance égale à celle de la ligne. La position de l'aiguille sur le cadran divisé dépend donc de la situation plus ou moins éloignée avec laquelle on correspond.

« Les mêmes lettres avec un accent désignent les mêmes choses pour la station S′.

« Voici maintenant le jeu de ces appareils et la circulation électrique qui s'y établit : premièrement, quand une seule station parle et que l'autre écoute ; secondement, quand les deux stations parlent à la fois et écoutent à la fois.

« *Premièrement.* La station S envoie une dépêche à la station S′, qui la reçoit en silence, c'est-à-dire avec la clef au repos. Aussitôt que la clef de S a quitté pour venir s'appuyer sur *k*, le circuit de la ligne est fermé, le courant de la batterie A en suivant le fil 1 arrive en S, où il se bifurque ; une portion prend le fil 2, traverse l'électro-aimant *b*, la résistance D ; passe dans la terre en t_1, revient en *t*, traverse le fil 3, le long bras de la clef, et arrive en *k*, c'est-à-dire au pôle négatif de la batterie ; l'autre portion prend le fil 4, traverse l'électro-aimant *a*, le fil de la ligne *l*, l'électro-aimant *a′*; passe par S′ dans la clef *c′*, et par le fil 6 dans la terre

en t' pour revenir par t, par le fil 3, et par k à l'autre pôle de la pile; car il ne faut pas perdre de vue que la clef c est séparée de f.

« Les deux circuits sont égaux, puisque la résistance D a été faite égale à celle de la ligne, et que les résistances de la terre de t' en t, ou de t_1 en t, sont considérées comme insensibles; il en résulte 1° que le relais ab ne ferme pas le circuit de C, puisque les deux électro-aimants sont traversés par des courants égaux; ainsi aucun signe ne se fait à la station S; 2° que le relais a' b' ferme le circuit de C′, et fait parler l'appareil de la station S′, puisque a' est seul traversé par le courant.

« Il est vrai qu'à la rigueur on pourrait dire qu'il passe aussi un courant par b', car le fil continue de g'' en b', de b' en D′ et de D′ en t'; il touche donc par deux points différents le circuit traversé par le courant de a et a'; mais la *distance électrique* de ces deux points est insensible; d'ailleurs si un courant dérivé était appréciable, il exercerait une action conspirante, puisque en traversant b' il aurait une direction contraire.

« Ainsi, quand l'une des stations garde le silence, l'autre peut lui parler sans confusion et en toute liberté.

« *Secondement*. Les deux stations parlent à la fois, c'est-à-dire que les deux clefs c et c' sont séparées de f, g'', et appuyées sur k, k'; qu'en même temps les deux batteries d, d', sont en activité. Alors, à la station S, se produira d'abord un courant local passant comme tout à l'heure par les fils 1 et 2, par l'électro-aimant b, par la résistance D, arrivant en t_1, pour revenir en t gagner le fil 3 et l'arrêt k; on peut l'appeler *courant local*, parce que son circuit, tout en passant par la terre, se complète dans la station elle-même. Il en sera de même exactement à la station S′. Il reste seulement à voir ce qui se produira dans le grand fil de la ligne; or, il est évident que ce fil continu depuis le point f de la première sta-

tion jusqu'au point g'' de la deuxième, est dans ce cas tout à fait pareil à un fil unique au moyen duquel on va mettre en communication deux circuits fermés, très-éloignés ou très-voisins, appartenant chacun à une batterie différente; ce fil unique ne peut être traversé que par des courants égaux et contraires, il est donc parfaitement incapable d'exercer une action magnétique quelconque. Il en résulte que les bobines des électro-aimants a, a' laissent le fer de ces derniers complétement à l'état naturel; mais b et b', aimantés par leurs courants, exercent alors toute leur action pour mettre les relais en mouvement, l'un pour faire parler C, l'autre pour faire parler C'. Alors, il est vrai, chaque station se parle à elle-même, mais elle se dit ce que l'autre lui dirait. Du moment où l'une des clefs aura quitté son arrêt k, pour revenir en f, les phénomènes se passeront comme dans le premier cas.

« Ainsi, en définitive, dans la transmission simultanée, jamais le fil de la ligne n'obéit à la fois à deux actions égales et contraires; mais par la disposition des appareils, ces courts moments d'insensibilité, ou plutôt d'immobilité du grand fil unique qui rattache les deux stations l'une à l'autre, se traduisent eux-mêmes à chaque station par un signe qui est précisément celui que le fil devrait transmettre à la fois dans les deux sens opposés.

« Il résulte cependant des expériences de M. Faraday sur la lenteur relative avec laquelle les courants se propagent dans les câbles sous-marins que la transmission simultanée ne pourrait pas s'y faire sans confusion, à moins que les appareils ne pussent manœuvrer avec une lenteur tout à fait exceptionnelle.

« Dans ce qui précède, j'ai essayé de simplifier autant que possible les diverses circonvolutions des courants, afin d'en mieux faire saisir l'ensemble. C'est pourquoi je n'ai pas parlé d'un galvanomètre différentiel dont on se sert pour établir l'égalité entre les circuits de la ligne et celui des ré-

sistances D et D′; à chaque station il y a un de ces instruments, dont l'un des fils reçoit le courant du fil 4, tandis que l'autre reçoit en sens contraire le courant du fil 2. Il suffit donc de presser la touche pour faire passer le courant, et en même temps de faire mouvoir l'aiguille *i* de la résistance jusqu'à ce que le galvanomètre reste immobile sous l'influence des deux courants contraires qui le traversent. »

APPELS DES STATIONS INTERMÉDIAIRES.

Systèmes électriques pour rappeler les bureaux télégraphiques pendant le jour et pendant la nuit. — M. Bergon, inspecteur des lignes télégraphiques, vient de publier dans les *Annales télégraphiques* un article intéressant sur les différents systèmes imaginés pour appeler les bureaux télégraphiques pendant le jour et pendant la nuit; il passe successivement en revue les systèmes de MM. Breguet, Martorey, Amiot, Guez et Ailhaud; mais il oublie l'un des plus ingénieux, celui de M. Wartmann, que nous avons décrit page 182 de notre troisième volume[1], et qui, inventé en 1850, a servi de point de départ à tous les autres, voire même à celui de M. Breguet, qui n'en est qu'un simple diminutif. Cette omission nous montre une fois de plus avec quelle déplorable facilité les véritables inventeurs se trouvent dépouillés de leurs inventions à l'avantage de ceux qui les perfectionnent. Il y a pourtant tout un monde entre une invention et un perfectionnement d'invention. Or, si le public oublie cela dans son égoïsme, les hommes de science devraient toujours être prêts à rétablir les faits.

Nous ne décrirons pas de nouveau le système de M. Breguet, dont nous avons suffisamment parlé, page 190 (3e vo-

1. La description de cet appareil a été en outre publiée dans les *Annales d'électricité*, dans le *Traité d'électricité* de Delarive, etc.

lume de l'*Exposé*), mais nous allons faire une analyse rapide des systèmes de MM. Martorey, Amiot, Guez et Ailhaud, qui ont été imaginés depuis la publication de notre ouvrage sur les applications de l'électricité.

L'un des inconvénients du système de M. Breguet était de ne pouvoir rappeler efficacement qu'une station intermédiaire ; il n'était donc guère applicable qu'aux lignes télégraphiques comprenant trois stations. Or, aujourd'hui que les stations se multiplient, ce système est réellement trop incomplet, et il était urgent d'imaginer des appareils n'appelant, parmi les stations intermédiaires, que celle avec laquelle on doit correspondre. C'est ce problème qu'avait, dès l'origine, résolu M. Wartmann, et qu'ont cherché à résoudre depuis MM. Martorey, Amiot, Guez et Ailhaud.

Pour réaliser l'effet dont nous venons de parler, M. Martorey adapte à l'appareil Morse une roue d'échappement ayant un nombre de dents au moins égal à celui des bureaux à desservir. Le levier du style est alors disposé de manière à faire fonction d'une ancre d'échappement, et la roue avance d'une dent seulement pour chacune de ses oscillations. Toutes les dents sont métalliques et isolées l'une de l'autre et du centre de la roue, excepté une seule, qui communique avec ce centre par un fil.

« La ligne, dit M. Bergon, doit avoir deux fils libres pendant la nuit, celui des appareils et celui des appels. Ce dernier entre dans tous les bureaux sans cesser d'être continu, et se borne à passer et à prendre contact sur le levier du style

« A l'expiration du service du jour, les leviers sont engagés dans les roues de façon que la dent à rayon conducteur suive celle qui touche le levier et aille en sens inverse du mouvement de la roue, la première dans le premier bureau, la deuxième dans le second bureau, et ainsi de suite.

« Toutes ces dispositions étant prises, si on veut rappeler

le deuxième bureau, on commence par faire passer n, courants consécutifs, dans les fils des appareils ; la dent à rayon conducteur vient se placer sous le levier dans le $n^{\text{ième}}$ bureau ; dans tous les autres elle est isolée. On émet ensuite un courant sur le fil des appels, et la sonnerie du $n^{\text{ième}}$ bureau est la seule qui soit mise en mouvement. La dépêche une fois passée, on revient au point de départ en envoyant m-n courants sur le fil des appareils, m étant le nombre des dents de chaque roue. »

Nous passons la critique que fait M. Bergon de ce système, laquelle nous paraît l'appréhension d'une crainte plutôt qu'une crainte réelle; mais nous ferons seulement remarquer que M. Martorey emploie deux fils à la ligne, tandis que M. Wartmann n'en emploie qu'un seul.

Dans le système de M. Amiot, on envoie encore n courants consécutifs, pour appeler le $n^{\text{ième}}$ bureau ; mais ces émissions doivent être de courte durée, excepté la dernière, qu'il faut prolonger 4 ou 5 minutes. La première de ces émissions, en soulevant le levier du porte-style, dégage un mécanisme d'horlogerie qui met en mouvement une glissière formant commutateur, laquelle établit successivement la communication directe entre le premier bureau et les autres, pour des émissions successives et rapides du courant, et ce n'est que quand la fermeture de ce courant est maintenue suffisamment longtemps, que la glissière, arrivant à l'extrémité de sa course, met en jeu, dans le bureau correspondant à cette fermeture, un électro-aimant fonctionnant sous l'influence de la pile locale et ayant action sur la sonnerie d'appel.

Ce procédé, comme le fait observer M. Bergon, n'exige, il est vrai, que l'emploi d'un seul fil ; mais, comme dans l'appareil précédent, il exige qu'on compte avec exactitude le nombre des émissions de courants que la ligne a reçues, et qu'on pratique ces émissions avec une vitesse déterminée ; ce système est donc encore inférieur à celui de M. Wartmann.

Le système de M. Guez n'est autre chose que la rentrée d'heure en heure des bureaux intermédiaires, telle qu'on l'avait établie dans l'origine de l'établissement des lignes télégraphiques, mais obtenue par des moyens électriques qui indiquent quand cette rentrée est nécessaire. Suivant M. Bergon, ces moyens répondent suffisamment aux besoins du service, surtout depuis les modifications qui leur ont été apportées par la commission des perfectionnements.

Dans ce système, les pendules des stations interrogent, pour ainsi dire, le circuit télégraphique aux heures voulues, pour faire savoir si les appareils doivent être ou non introduits dans le circuit de ligne. Pour réaliser cet effet, l'axe de l'aiguille des minutes de ces pendules porte un disque d'ivoire sur la circonférence duquel se trouvent établis 1, 2, 3 ou 4 interrupteurs métalliques, suivant le nombre de fois que la station doit être appelée dans une heure, et qui se composent chacun de trois dents de platine espacées d'une quantité en rapport avec un temps déterminé (quinze secondes par exemple). Ces dents communiquent métalliquement avec l'axe de l'aiguille des heures, et par lui, ainsi que par le corps de la pendule, avec le fil de ligne. Seulement la dent du milieu est en dehors du plan des deux autres, de manière que deux frotteurs juxtaposés, destinés à réagir sur elles, puissent les rencontrer alternativement. Celui de ces deux frotteurs qui doit rencontrer la dent du milieu correspond à un relais du genre de celui du Père Cecchi, et le second à la pile de ligne de la station par l'intermédiaire d'un contact établi entre l'armature d'une sonnerie-trembleuse et un butoir d'arrêt.

Le relais a pour fonction de fermer le courant de la pile locale à travers la sonnerie trembleuse, et celle-ci, par sa disposition, forme un rhéotome qui réagit sur le circuit de la ligne en provoquant aux stations extrêmes une série de fermetures de courant dont nous verrons à l'instant l'uti-

le deuxième bureau, on commence par faire passer n, courants consécutifs, dans les fils des appareils ; la dent à rayon conducteur vient se placer sous le levier dans le $n^{\text{ième}}$ bureau ; dans tous les autres elle est isolée. On émet ensuite un courant sur le fil des appels, et la sonnerie du $n^{\text{ième}}$ bureau est la seule qui soit mise en mouvement. La dépêche une fois passée, on revient au point de départ en envoyant m-n courants sur le fil des appareils, m étant le nombre des dents de chaque roue. »

Nous passons la critique que fait M. Bergon de ce système, laquelle nous paraît l'appréhension d'une crainte plutôt qu'une crainte réelle ; mais nous ferons seulement remarquer que M. Martorey emploie deux fils à la ligne, tandis que M. Wartmann n'en emploie qu'un seul.

Dans le système de M. Amiot, on envoie encore n courants consécutifs, pour appeler le $n^{\text{ième}}$ bureau ; mais ces émissions doivent être de courte durée, excepté la dernière, qu'il faut prolonger 4 ou 5 minutes. La première de ces émissions, en soulevant le levier du porte-style, dégage un mécanisme d'horlogerie qui met en mouvement une glissière formant commutateur, laquelle établit successivement la communication directe entre le premier bureau et les autres, pour des émissions successives et rapides du courant, et ce n'est que quand la fermeture de ce courant est maintenue suffisamment longtemps, que la glissière, arrivant à l'extrémité de sa course, met en jeu, dans le bureau correspondant à cette fermeture, un électro-aimant fonctionnant sous l'influence de la pile locale et ayant action sur la sonnerie d'appel.

Ce procédé, comme le fait observer M. Bergon, n'exige, il est vrai, que l'emploi d'un seul fil ; mais, comme dans l'appareil précédent, il exige qu'on compte avec exactitude le nombre des émissions de courants que la ligne a reçues, et qu'on pratique ces émissions avec une vitesse déterminée ; ce système est donc encore inférieur à celui de M. Wartmann.

Le système de M. Guez n'est autre chose que la rentrée d'heure en heure des bureaux intermédiaires, telle qu'on l'avait établie dans l'origine de l'établissement des lignes télégraphiques, mais obtenue par des moyens électriques qui indiquent quand cette rentrée est nécessaire. Suivant M. Bergon, ces moyens répondent suffisamment aux besoins du service, surtout depuis les modifications qui leur ont été apportées par la commission des perfectionnements.

Dans ce système, les pendules des stations interrogent, pour ainsi dire, le circuit télégraphique aux heures voulues, pour faire savoir si les appareils doivent être ou non introduits dans le circuit de ligne. Pour réaliser cet effet, l'axe de l'aiguille des minutes de ces pendules porte un disque d'ivoire sur la circonférence duquel se trouvent établis 1, 2, 3 ou 4 interrupteurs métalliques, suivant le nombre de fois que la station doit être appelée dans une heure, et qui se composent chacun de trois dents de platine espacées d'une quantité en rapport avec un temps déterminé (quinze secondes par exemple). Ces dents communiquent métalliquement avec l'axe de l'aiguille des heures, et par lui, ainsi que par le corps de la pendule, avec le fil de ligne. Seulement la dent du milieu est en dehors du plan des deux autres, de manière que deux frotteurs juxtaposés, destinés à réagir sur elles, puissent les rencontrer alternativement. Celui de ces deux frotteurs qui doit rencontrer la dent du milieu correspond à un relais du genre de celui du Père Cecchi, et le second à la pile de ligne de la station par l'intermédiaire d'un contact établi entre l'armature d'une sonnerie-trembleuse et un butoir d'arrêt.

Le relais a pour fonction de fermer le courant de la pile locale à travers la sonnerie trembleuse, et celle-ci, par sa disposition, forme un rhéotome qui réagit sur le circuit de la ligne en provoquant aux stations extrêmes une série de fermetures de courant dont nous verrons à l'instant l'uti-

lité. Voici maintenant comment ce système fonctionne :

Toutes les fois que les ressorts de l'interrupteur de l'horloge rencontrent les dents métalliques dont nous avons parlé, c'est-à-dire aux heures où la station intermédiaire doit être introduite dans le circuit, un courant de ligne se trouve d'abord envoyé aux stations extrêmes et traverse leur récepteur. On sait alors à ces stations que la station intermédiaire en question est disposée à entrer dans le circuit, et l'on a 15 secondes pour décider s'il y a ou non opportunité à ce que cette introduction ait lieu. Si elle ne doit pas se faire, on laisse les appareils au repos aux stations extrêmes, et les contacts successifs opérés par l'horloge de la station intermédiaire n'exercent aucun effet : le dernier seulement, en réagissant de nouveau sur les récepteurs des stations extrêmes, prévient qu'il n'est plus temps, pour le moment, d'établir la communication avec la station intermédiaire. Si au contraire cette communication doit se faire, on ferme, soit à l'une, soit à l'autre des stations extrêmes, le courant de la pile de ligne, et au moment où s'opère le contact de la dent du milieu des commutateurs de l'horloge, un courant traverse le relais de la station intermédiaire et met en mouvement la sonnerie d'alarme qui tinte indéfiniment, car le relais étant à armature aimantée, cette armature reste inclinée du côté où l'attraction l'a conduite, et ferme par conséquent le courant de la pile locale jusqu'à ce que l'employé du poste ait rompu ce courant[1]. Toutefois, après que cette réaction a eu lieu, le dernier contact opéré par l'interrupteur de l'horloge, au lieu de fermer le courant d'une manière continue à travers les récepteurs des stations extrêmes, fournit une série de fermetures successives résultant du mouvement de l'armature de la sonnerie d'alarme et qui avertissent les stations extrêmes que l'appel qu'elles ont envoyé a été exécuté.

1. Ce système est encore analogue à celui que j'ai employé pour mon avertisseur des chemins de fer.

Le système de M. Ailhaud n'est autre chose que le communicateur Breguet, devenu, au moyen de la pendule et d'une disposition particulière qu'il est aisé de deviner, susceptible de se prêter au service des appels de plusieurs bureaux intermédiaires; ce système, du reste, n'offre en lui rien de particulier, et paraît être inférieur à celui dont nous venons de parler.

Pour compléter notre chapitre de la télégraphie électrique, nous signalerons, seulement à titre de renseignement, quelques dispositions télégraphiques qui ont été publiées dans les *Annales télégraphiques*, mais qui ne paraissent pas avoir une grande importance pratique.

Ainsi M. Sambourg, chef de station, a cherché à obtenir mécaniquement les traits longs et courts de l'alphabet Morse au moyen d'une clef analogue à celle des télégraphes anglais, dont l'inclinaison dans un sens produirait des points, et l'inclinaison en sens contraire des traits. Cet effet, selon M. Sambourg, pourrait être obtenu en faisant en sorte qu'un levier monté sur l'axe de la clef, rencontre d'un côté une lame de ressort pouvant l'accompagner dans une partie de sa course, tandis que de l'autre il ne pourrait rencontrer que la pointe d'un butoir.

D'un autre côté, M. Faure a cherché une combinaison de circuits qui pût permettre la suppression de l'un des appareils récepteurs des stations télégraphiques.

Enfin M. Caël, directeur des télégraphes, en reliant la sonnerie au récepteur des stations, et en fermant le circuit, à travers cette sonnerie, par le contact du levier qui dégage le mécanisme entraîneur de la bande de papier contre son butoir d'arrêt, est arrivé à obtenir que le fonctionnement des sonneries puisse se faire sans qu'on soit obligé d'interposer ces organes d'avertissement dans le circuit de la ligne, soin que les employés ne prennent pas toujours. C'est alors en dégageant le mécanisme entraîneur de la bande de papier

qu'on fait taire la sonnerie pendant la transmission; et comme on est forcé d'arrêter ce mécanisme après que la correspondance est terminée, l'interruption de la sonnerie dans le circuit s'effectue naturellement et sans exiger une attention spéciale de la part des employés.

PARAFOUDRES.

Bien que les parafoudres dont nous avons parlé dans notre troisième volume des applications de l'électricité, aient fourni des résultats avantageux sur la plupart des lignes où ils ont été installés, on a cherché à les perfectionner encore; et grâce aux efforts de MM. Mouilleron et Gossin, cet accessoire si utile de la télégraphie électrique semble avoir atteint son dernier mot.

Les appareils de ces constructeurs sont de deux sortes: les uns auxquels on peut donner le nom de parafoudres à 3 déchargeurs, les autres que l'on peut appeler parafoudres à simples déchargeurs.

Nous savons que les parafoudres employés jusqu'ici par l'administration, ont comme éléments dérivatifs deux lames de cuivre dentelées placées l'une vis-à-vis de l'autre et un fil de fer fin de cinq centimètres environ de longueur interposé dans le circuit de la ligne. Ces éléments permettent à la foudre de s'écouler dans le sol et de couper le circuit par la fusion du fil de fer avant que de pénétrer dans les appareils télégraphiques. Un commutateur permet même de disposer le circuit avec ou sans paratonnerre. Ces précautions n'ont pas été jugées suffisantes par MM. Mouilleron et Gossin, et au lieu de deux éléments dérivatifs ils en ont introduit trois dans des conditions telles que la foudre se trouve forcément conduite en terre, quelles que soient les circonstances dans lesquelles elle se manifeste.

Le parafoudre à trois déchargeurs se compose : 1° d'un déchargeur armé de 600 pointes de cuivre disposées sur deux disques de cuivre placés l'un devant l'autre ;

2° De deux tubes de verre verticaux renfermant chacun un fil de fer fin tendu, de bas en haut, par un fort ressort-boudin adapté à une pièce mobile de cuivre. Cette pièce de cuivre est placée au-dessus d'un appendice métallique en communication directe avec le sol ; mais en temps normal le contact n'a pas lieu entre ces deux pièces parce que le fil de fer, en comprimant le boudin, éloigne la pièce mobile de cuivre à laquelle il est attaché.

Un galvanomètre, placé au-dessus de l'appareil, et deux commutateurs, complètent le système. L'un de ces commutateurs est destiné à introduire à volonté le galvanomètre dans le circuit de la ligne, afin qu'on puisse s'assurer du passage du courant à travers ce circuit dans les cas douteux de la correspondance. L'autre permet de compléter le circuit de ligne à travers les appareils avec ou sans paratonnerre. Voici quels sont les avantages de cette nouvelle disposition »

D'abord le déchargeur à distance, armé de 600 pointes, est infiniment plus sensible que celui des parafoudres ordinaires ; en second lieu, quand la foudre vient à fondre l'un des deux fils de fer, pendant la manœuvre du télégraphe, on peut le remplacer immédiatement en complétant le circuit à travers le second fil de fer, et cela en tournant le commutateur convenablement.

De plus, aussitôt que la fusion a eu lieu, le boudin qui tendait le fil rompu s'allonge et permet le contact de son support mobile avec l'appendice fixe placé au-dessous de lui, d'où il résulte une communication directe du fil de ligne avec le sol. En admettant donc qu'un premier coup de foudre ait eu pour effet de fondre le fil de fer, un second coup ne serait plus à craindre, puisque la communication avec le sol

se trouve alors établie jusqu'à ce qu'on ait fait communiquer la ligne avec le fil de fer de rechange.

La multiplicité des pièces qui composent l'appareil précédent ayant exigé un rapprochement trop grand des lames métalliques employées dans les transmissions électriques, MM. Mouilleron et Gossin ont cherché à simplifier le système précédent tout en le plaçant dans les meilleures conditions possibles, et ils ont été conduits à l'appareil que nous avons représenté, fig. 42 et 43 ci-dessous.

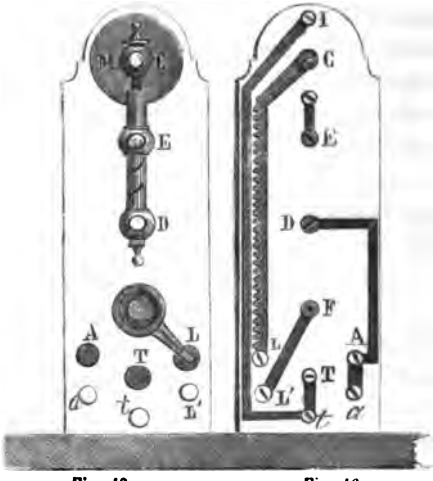


Fig. 42. Fig. 43.

Il consiste, comme l'appareil précédent, dans un déchargeur à disques superposés M auquel communique le déchargeur à fil fin CD dont la construction est réduite à sa plus simple expression. Celui-ci se compose d'une espèce d'étui CD moitié cuivre (de C en E), moitié ivoire (de E en D), qui se trouve introduit à travers trois boutons C, D et E, et fixé sur l'un d'eux à l'aide d'une vis de pression. L'un de ces boutons D communique à la plaque A du commutateur,

c'est-à-dire à celle qui se trouve mise en rapport avec l'appareil télégraphique par le bouton d'attache *a*; l'autre bouton C communique au moyen d'une tige isolée du disque inférieur du déchargeur M avec la plaque L du commutateur. La bande de cuivre appelée à opérer cette communication est dentelée ainsi qu'on le voit, fig. 43. Le troisième bouton E communique avec le sol par l'intermédiaire du disque inférieur du déchargeur M auquel il communique par une plaque. Enfin l'étui lui-même renferme une tige taraudée, moitié cuivre, moitié ivoire, et dans les filets de laquelle se trouve enroulé un petit fil de fer isolé avec de la soie, dont l'un des bouts, en dépassant le bouton E, vient s'entortiller autour de la partie en ivoire ED pour communiquer métalliquement avec le bouton D, et dont l'autre bout communique métalliquement avec le bouton C.

Le déchargeur M, composé de deux disques superposés, communique d'une part par le disque supérieur avec le bouton C, et par le disque inférieur avec la plaque T du commutateur qui est en rapport avec le sol par le bouton d'attache *t*. La bande de cuivre I, *t* T, appelée à établir cette communication, est dentelée comme la bande CL, dont elle est très-rapprochée.

Quant au commutateur de l'appareil, il se compose, comme tous les commutateurs dont nous avons déjà parlé pour les parafoudres, d'un frotteur tournant, qui se trouve relié par une lame avec le bouton de ligne L′, et qui peut rencontrer tour à tour l'une ou l'autre des trois lames A, T et L. Quand ce frotteur est sur la lame L, le circuit de ligne est établi à travers l'appareil télégraphique, et le courant suit le chemin suivant L′, F, L, C, D, A, *a*, en passant à travers le fil de fer fin enroulé sur CD. Si la foudre tombe sur le fil de ligne, elle arrive alors de L en C au disque supérieur du déchargeur et s'écoule partie par les pointes des lames LC et ltT qui se trouvent opposées, partie par les 800 pointes des

disques du déchargeur M, qui se trouvent opposées de la même manière que celles des lames précédentes. Si, malgré cet écoulement, elle parvient à fondre le fil de fer, une communication avec le sol se trouve établie par le fil en fusion et le bouton E, en même temps qu'une séparation de 4 centimètres ED isole l'appareil du circuit de ligne. La foudre se trouve donc portée en terre et ne pénètre pas dans les appareils.

Quand le commutateur est sur la plaque T, le circuit de ligne aboutit directement à la terre par les communications métalliques L'FT. Enfin, quand le commutateur est sur la plaque A, le circuit de ligne est en rapport direct avec l'appareil télégraphique sans l'interposition du parafoudre. En effet, le courant passe par les communications L', F, A, *a*.

Parafoudres actuels de l'administration française. — Bien que les parafoudres que nous venons de décrire aient présenté de notables améliorations, de l'aveu même des personnes du métier, l'administration des télégraphes français n'a pas cru devoir les adopter, et a eu recours à un autre système, combiné surtout en vue de la force et de la solidité. Il est vrai que les télégraphes établis par M. Poujet-Maisonneuve avaient tous été mis hors de service en peu de temps, et l'administration, ennuyée de n'avoir qu'un joujou dans ces sortes d'appareils, a voulu avoir un outil capable de lutter contre la foudre elle-même. C'est ce qui explique pourquoi le déchargeur à pointes a été isolé du commutateur et forme à lui seul l'appareil massif que nous représentons fig. 45, et qui est tout en métal. Dans cet appareil, les pointes sont formées par des bouts de fortes vis que l'on peut apointir au fur et à mesure de leur usure, et que l'on peut approcher plus ou moins de la surface des montants de l'appareil, suivant le degré de sensibilité qu'on veut donner à celui-ci. Quant à ces montants eux-mêmes, ils sont mis en relation, l'un avec le fil de ligne, l'autre avec le fil de terre, au

moyen des bornes A et B, et communiquent au commutateur par les boutons d'attache C et D.

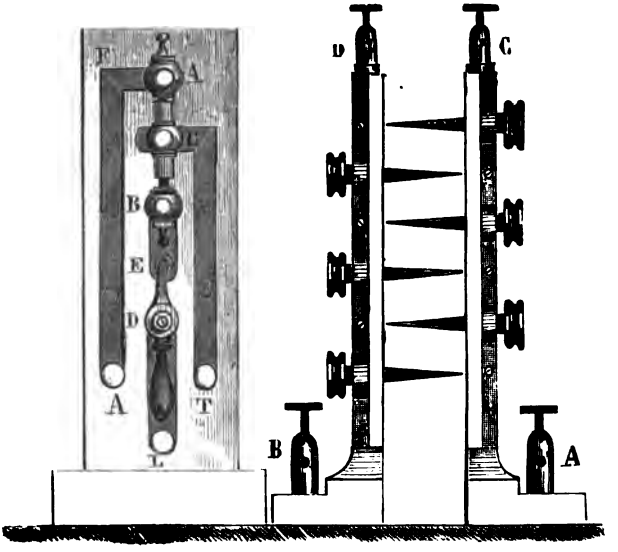


Fig. 44. Fig. 45.

Le commutateur est représenté fig. 44; il ressemble, du reste, entièrement à celui de l'appareil de M. Mouilleron, sauf plusieurs conditions d'isolement qui ont été peu observées. Ainsi AB représente le cylindre sur lequel est enroulé le petit fil de fer fin qui établit la communication entre l'appareil télégraphique et la ligne, et qui doit être fondu au moment où la foudre tombe sur le fil de ligne. Or ce fil se trouve recouvert par une gaîne de cuivre en communication avec le sol par le support C, et les extrémités de cette gaîne ne sont éloignées des boutons A et B correspondant au fil de ligne et à l'appareil que de 3 ou 4 millimètres tout au plus. Il est clair qu'avec cette disposition il ne faudra pas à la foudre

une bien grande tension pour vaincre cet intervalle et sauter directement du fil de ligne dans la gaîne, et de celle-ci dans la bande métallique en rapport avec les appareils. Dans le parafoudre de M. Mouilleron, une distance de 4 centimètres est intercalée entre le conducteur de ligne et le conducteur des appareils, ce qui est infiniment préférable.

Du reste, la disposition de cette partie du parafoudre se comprend aisément : L, qui est le bouton d'attache en rapport avec le fil de ligne, met le frotteur D en communication avec la ligne, et, suivant que celui-ci est appuyé sur les bandes BE, CT, AFA, la ligne se trouve mise en rapport avec les appareils télégraphiques par l'intermédiaire du parafoudre, avec le sol directement, ou avec les appareils télégraphiques sans l'intermédiaire du parafoudre.

IV

APPAREILS POUR LA SÉCURITÉ DES CHEMINS DE FER.

Le peu d'empressement qu'ont mis les compagnies de chemins de fer à adopter les moyens électriques proposés dans le but d'assurer la sécurité des chemins de fer a calmé considérablement, depuis deux ans, le zèle des inventeurs. Aussi, depuis la publication de mon *Exposé des applications de l'électricité*, je ne me trouve avoir à signaler que quelques systèmes accessoires ou des systèmes mixtes fondés sur les anciens moyens.

Toutefois, avant de faire cet exposé, je me crois obligé, par esprit de justice, aussi bien que dans l'intérêt de l'histo-

rique de la question, de retourner un peu en arrière pour faire connaître un système imaginé dès l'année 1854, d nt je n'avais pas eu connaissance, et qui démontre, d'une manière évidente, non-seulement que l'idée de la bande continue employée par M. Bonelli a toujours été la première conception de tous les inventeurs qui se sont occupés de cette question, mais encore qu'après un plus mûr examen cette idée n'était pas soutenable. Ce système a été imaginé par M. Crestin, ancien représentant, et breveté le 20 octobre 1854.

« L'objet de mon brevet, dit M. Crestin, était l'invention d'un appareil électro-magnétique mis en mouvement par la locomotive sur laquelle il devait être placé et pouvant servir 1° à décomposer une certaine quantité d'eau et à fournir du gaz donnant un combustible; 2° à établir un courant pouvant *être appliqué à la télégraphie de sûreté.*

« Pour obtenir ce dernier résultat, je plaçais sur un wagon de chaque train mon appareil magnéto-électrique ou tout autre générateur d'électricité. Cet appareil fournissait un courant qui était conduit par une lame flexible, latéralement en dehors de la voie. Une autre lame, également flexible, et placée parallèlement à côté de la première, servait à recueillir un courant d'origine différente. Enfin un fil ou *tringle* de fer était placé à hauteur convenable sur un des côtés de la voie, de manière à se trouver à portée des lames flexibles précédentes.

« Chacune des lames appuyait alternativement sur le fil, et par conséquent un courant était envoyé et un autre reçu par chaque train; mais comme on n'aurait pu distinguer si le courant venait d'arrière ou d'avant, je plaçais de distance en distance des tourniquets dont deux bras étaient en bois et deux autres en métal. Dans l'état normal, les deux bras en métal reliaient deux bouts du fil conducteur; mais quand un train venait à passer, la première lame placée sur le wagon frappait le bras du tourniquet faisant saillie et lui faisait

décrire un quart de cercle; le fil étant alors interrompu, le courant venant d'arrière pouvait seul parvenir à la seconde lame, qui alors donnait un avertissement si un train s'avançait *venant d'arrière*.

« Tel était mon premier système pour mettre les trains en relation entre eux, et j'ajoutais à ce mécanisme le dispositif suivant destiné à mettre les trains en communication avec les stations.

« Un second fil placé sur le côté opposé à celui où est établi le fil à tourniquets est continu d'une station à l'autre. Il correspond à des générateurs d'électricité établis aux stations qui fournissent un courant continu. Deux branches de fer doux qui sortent d'un wagon et s'avancent latéralement sur la voie reposent sur ce fil (comme dans le premier appareil) et font communiquer le courant avec une sonnerie ou tout autre appareil d'avertissement qui, lorsqu'elle parle, donne la certitude qu'aucun train n'est sur la voie. En effet, supposons deux trains s'avançant l'un contre l'autre sur la même voie : si le train n° 1 vient à passer devant une station alors que le train n° 2 n'a pas encore dépassé la station prochaine, le courant envoyé par la première station se bifurque et se trouve presque entièrement absorbé par le train n° 1. La sonnerie du train n° 2 se tait donc forcément, et l'on est prévenu par là qu'il y a danger. »

Quelque temps après la prise de son brevet, M. Crestin reconnaissant les inconvénients de la bande continue, imagina de la remplacer par un système particulier de frotteurs échelonnés sur la voie les uns à la suite des autres, et reliés métalliquement par un fil de ligne télégraphique. Ces frotteurs, qui pouvaient consister dans de simples lames d'acier verticales ou dans des frotteurs à piston analogues à ceux que j'ai souvent eu occasion de décrire dans mon ouvrage, devaient être distants tout au plus les uns des autres d'une longueur de wagon; car une traverse métallique placée au-

dessous du marchepied de l'un de ces véhicules devait alternativement passer au-dessus d'eux et ne jamais abandonner l'un sans que l'autre fût déjà touché. Il résultait de cette disposition que le circuit pouvait se trouver toujours complété à travers les convois sans que ceux-ci, pour cela, fussent en communication directe avec la ligne, et par conséquent la correspondance télégraphique pouvait être établie comme dans le système Bonelli, non-seulement entre les trains et les stations, mais encore entre les trains en mouvement.

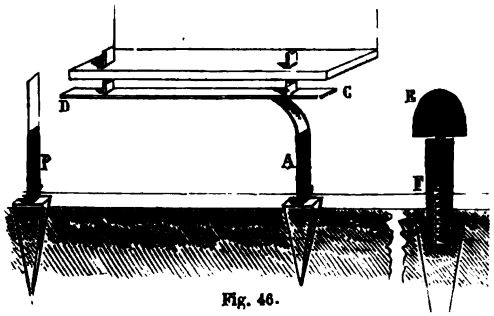


Fig. 46.

La figure 46 ci-dessus représente la disposition du système de M. Crestin. A et P sont les lames de ressort mises en communication avec la ligne; elles doivent, suivant l'inventeur, être recouvertes de matière isolante jusqu'aux deux tiers de leur hauteur. CD est la bande métallique placée au-dessous du marchepied d'un des wagons qui, en rencontrant les ressorts, doit les faire fléchir et produire l'adhérence métallique nécessaire à la continuité du circuit télégraphique.

Sans vouloir me prononcer en aucune façon sur l'importance pratique de ce système, je crois cependant devoir faire

remarquer que le mode d'isolement des ressorts indiqué par M. Crestin est loin d'être suffisant, car les jours de pluie, et même par les temps humides, la partie métallique découverte de ces ressorts se trouve mise en communication avec le sol par une couche conductrice non interrompue (l'eau); d'ailleurs, des lames de ressort longues et droites, qui doivent se trouver forcément infléchies, ne peuvent jamais conserver longtemps leur verticalité; l'élasticité elle-même de ces lames produirait d'ailleurs des mouvements vibratoires qui auraient pour résultat des discontinuités du circuit indépendantes des transmissions télégraphiques. Je crois qu'en substituant à ces ressorts des frotteurs à piston de la forme de celui indiqué en EF, on rendrait le système plus réalisable; car le champignon métallique E qui les termine les protégerait contre l'humidité, et le tuyau de porcelaine F dans lequel ils se meuvent serait un isolant plus sûr qu'une couche de gutta-percha. Enfin, l'inflexion de ces frotteurs s'effectuant toujours verticalement, on n'aurait pas à craindre leur déviation de la verticalité. Sans doute, les interruptions de courant résultant des vibrations de la partie mobile de ces frotteurs seraient encore un inconvénient, mais cet inconvénient pourrait être jusqu'à un certain point atténué par un système électro-magnétique particulier dont j'aurai à parler à l'occasion des nouveaux perfectionnements que j'ai apportés à mon système automatique.

Quoi qu'il en soit de la perfection de ce mode de liaison télégraphique, voici comment M. Crestin établit son système :

Deux fils de ligne aboutissant à deux séries de frotteurs disposés ainsi que nous l'avons dit, relient les stations entre elles et suivent la voie l'un à droite, l'autre à gauche : chaque convoi est muni de trois systèmes d'appareils, de deux récepteurs télégraphiques, soit à sonnerie, soit à aiguille, et d'un générateur d'électricité, et ces appareils sont mis en

rapport avec les fils de ligne par des conducteurs qui aboutissent aux lames de cuivre (placées sous les deux marchepieds) lesquelles doivent rencontrer les frotteurs.

Perfectionnements apportés aux indicateurs des trains, de M. Regnault. — Les indicateurs de la marche des trains, dans le système de M. Regnault, ont pour but, comme je l'ai dit dans mon *Exposé des applications de l'électricité* (voir 2e vol., p. 156), 1° d'empêcher deux trains de marcher en sens contraire entre deux stations consécutives d'un chemin de fer à voie unique ; 2° d'empêcher toute collision entre deux trains marchant dans le même sens, soit sur un chemin à voie unique, soit sur un chemin à double voie ; 3° d'indiquer d'une manière permanente, visible pour tous les agents des deux gares entre lesquelles circule un train, la présence de ce train ainsi que sa direction. Ces appareils, toutefois, comme nous l'avons vu, ne fournissent pas automatiquement ces indications. Les nouveaux perfectionnements que M. Regnault a apportés à ses appareils ne changent pas, sous ce rapport, le mode d'action de ceux-ci, mais ils assurent leur bon fonctionnement en les rendant complétement indépendants des causes fortuites de dérangement.

Les nouveaux appareils n'ont plus qu'une seule aiguille et se composent de trois parties : 1° *de l'indicateur proprement dit* constitué comme dans le premier système par un appareil galvanométrique ; 2° *d'un relais rhéotomique* dont nous verrons les fonctions ; 8° *d'un inverseur* de courants.

L'inverseur est formé de trois lames *a, b, c,* fig. 47, p. 316, dont les deux premières, *a, b,* sont réunies aux pôles de la pile de ligne, et la troisième au relais rhéotomique. Au repos, ces lames établissent les communications suivantes : l'un des pôles de la pile est mis en rapport avec le fil de terre *x*, le second pôle touche un butoir d'arrêt *d*, et la troisième lame *c* met en rapport le relais rhéotomique avec le fil de ligne. Ces trois lames sont manœuvrées en même

temps à l'aide d'un levier d'ivoire *e* à trois points d'arrêt, que M. Regnault appelle le *poussoir*, et qui est maintenu dans une position fixe par un ressort assez puissant.

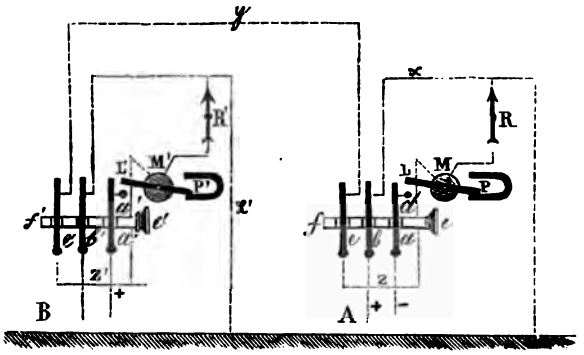


Fig. 47.

Pour faire réagir cet inverseur, il suffit d'appuyer sur le poussoir; alors les lames se déplacent et les communications électriques sont établies de la manière suivante : la première lame *a* quitte son butoir d'arrêt *d* pour toucher le fil de terre *x*; la deuxième lame quitte le fil de terre pour toucher le fil de ligne *y*, et enfin la troisième lame quitte le fil de ligne pour isoler l'appareil du poste.

Le relais rhéotomique, placé à la partie inférieure de l'appareil, se compose du système électro-magnétique imaginé par le Père Cecchi, disposé en relais, c'est-à-dire d'un électro-aimant droit horizontal M [1] dont les deux pôles s'épanouissent en forme de palettes LP et peuvent osciller entre les pôles de deux aimants persistants en fer à cheval, que nous représentons sur la figure, pour plus de simplicité, comme s'il n'y en avait qu'un seul. (Voir la description de ce système dans mon *Étude du magnétisme*, page 217.) Cet électro-aimant,

1. Cet électro-aimant est vu par le bout sur la figure.

qui se meut sur lui-même autour de son axe, sous l'influence de l'attraction et de la répulsion des palettes qui le terminent, et qui joue par conséquent le même rôle qu'une palette aimantée placée entre deux électro-aimants, porte un levier L faisant fonction de relais inverseur, comme dans mon *Système d'appareils aux signaux*, que j'ai décrit page 188 (2e vol.). A l'état de repos, ce levier L conserve une position normale qui est le résultat de l'attraction exercée par les aimants sur les extrémités polaires de l'électro-aimant droit. Mais si un courant vient à passer à travers cet électro-aimant, il polarise ces extrémités, et alors il peut se présenter deux cas : ou le courant est dirigé de manière à ce que les pôles des aimants fixes contre lesquels sont appuyées les extrémités polaires de l'électro-aimant sont de même nom que celle-ci ; alors le levier-relais se déplace et vient mettre la bobine de l'électro-aimant lui-même en contact avec le butoir d'arrêt *d* de la première lame *a* de l'inverseur ; ou les pôles des aimants et ceux de l'électro-aimant sont de noms contraires, et alors le levier-relais ne bouge pas. Dans tous les cas, le fil de la bobine du relais rhéotomique est en rapport avec le cadre galvanométrique de l'indicateur. Mais le courant qui la parcourt peut lui être transmis, soit par le circuit de la ligne quand la lame *c* touche le fil de ligne, soit par le circuit de la pile locale, comme cela arrive quand le levier L du relais rhéotomique touche le butoir *d*.

Quant à l'indicateur proprement dit, il doit se trouver tellement relié avec les appareils décrits ci-dessus, que les courants qui agissent sur lui fassent toujours incliner l'aiguille du côté vers lequel se dirige le train signalé. Il n'est d'ailleurs autre chose qu'un télégraphe anglais, à simple aiguille, auquel on a ajouté un petit aimant compensateur afin de rectifier les déviations dues à l'action de la terre.

Les lignes ponctuées sur la figure représentent les liaisons électriques de deux appareils placés à deux stations consé-

cutives; elles sont, comme on le voit, symétriques pour chaque appareil, de sorte qu'il est impossible de se tromper dans la pose des fils. Voyons maintenant comment vont fonctionner ces deux appareils, suivant qu'ils seront manœuvrés à la station A ou à la station B.

Au moment où le train quittera la station A, le stationnaire pressera le poussoir *ef*; les trois lames *a*, *b*, *c* seront déplacées et le courant de la pile de la station A ira de *b* en *y*, *d'*, *y* à la lame *c'* de l'inverseur de la station B; de *c'* en Z' entrera dans le relais rhéotomique M', puis dans l'indicateur R' et ira de là à la terre par le fil *x'* pour revenir à la pile de A par le sol, le fil *x* et la lame *a*. Sous l'influence de ce courant, l'aiguille de l'indicateur R' s'inclinera du côté vers lequel marche le train signalé; mais en même temps le levier L' du relais rhéotomique M' se trouvera dévié; il touchera le butoir *d'*, et le courant de la pile locale de la station B sera mis en rapport avec le relais rhéotomique M'. Si le mode de liaison des lames *a'* et *b'* de l'inverseur, avec cette pile locale, est précisément l'inverse de celui des lames *a* et *b*, avec la pile de la station A, il arrivera que les déviations produites momentanément par le courant de la ligne pourront être maintenues et qu'une réaction secondaire pourra être obtenue sur l'appareil de la station A. En effet, comme le relais rhéotomique R' est relié au fil de ligne par l'intermédiaire de la lame *c'*, le courant de la pile locale de B, qui se trouve mis en rapport avec ce relais par le butoir *d'*, se bifurquera et suivra deux circuits, l'un décrit à travers l'électro-aimant du relais M', l'indicateur R' et le fil *x'* qui aboutit à la lame *b'*; l'autre à travers le fil Z', la lame *c'*, le fil de ligne *y*, la lame *c* de l'inverseur de la station A, le fil Z, le relais rhéotomique M, l'indicateur R et les fils de terre *x* et *x'*. Le courant du premier circuit maintiendra l'action exercée primitivement sur l'indicateur de la station B, et cette action subsisterait alors même que le fil de ligne vien-

drait à se rompre, puisque c'est le courant de la pile locale de B qui se trouverait réagir alors. Le deuxième courant fera devier à son tour l'indicateur de la station A; mais comme la cause qui le provoque est un contact permanent, l'indicateur R n'a pas besoin de la réaction du relais rhéotomique M, pour que la déviation de son aiguille soit maintenue; aussi ce relais est-il disposé de manière que ce second courant, dont nous venons de parler, le traverse dans le sens voulu pour que le levier L ne bouge pas.

Ainsi, sous l'influence d'une seule impulsion communiquée au poussoir de A, on obtient sur les indicateurs de A et de B deux indications permanentes, dont l'une est la conséquence de l'autre, ce qui permet d'être assuré si le signal envoyé est parvenu à destination. De plus, ces indications, une fois produites, ne peuvent plus être changées par celui qui les a envoyées, ce qui est une grande condition de sécurité pour le service.

Quand le train signalé par la station A est arrivé à la station B, le stationnaire pousse un second poussoir appelé *poussoir d'arrivée,* et qui a pour objet de séparer mécaniquement le levier L′ du relais rhéotomique, du butoir *d′*. Alors le courant de la pile locale de B se trouve interrompu, et les appareils des deux stations reviennent à leur disposition normale, ce qui annonce en même temps à la station A que le train est arrivé à la station B.

Des effets symétriques auraient lieu dans les appareils si le train était parti de B pour se diriger vers A; seulement, le sens des courants aurait été renversé, afin que les aiguilles des indicateurs fussent déviées en sens opposé.

Si l'on se reporte à la description de mes appareils à signaux pour les chemins de fer, que j'ai publiée page 187, 2e volume, de mon *Exposé des applications de l'électricité,* on pourra s'assurer que les combinaisons de courants appelés à produire les effets permanents et multiples que nous venons

d'étudier s'y trouvent exposées dans leur principe ; la forme seule des pièces qui sont en jeu est différente. En effet, comme M. Regnault, je maintiens l'action momentanée exercée sur mon indicateur par le courant de la ligne. au moyen d'un relais rhéotomique qui envoie à travers cet indicateur le courant d'une pile locale. Ce même courant, en se dérivant d'un autre côté, va animer une sonnerie qui tinte jusqu'à ce qu'un interrupteur, dont le jeu est analogue à celui du poussoir d'arrivée dans les appareils de M. Regnault, vienne rompre le courant local et remettre l'indicateur dans sa position normale. Comme M. Regnault encore, j'ai un inverseur, et mes combinaisons électriques ne sont pas plus compliquées. Je fais cette remarque non pour déprécier le mérite des appareils de M. Regnault, mais pour montrer que mon système pour la sécurité des chemins de fer, même dans ses plus petits détails, valait bien la peine d'un examen attentif de la part des ingénieurs des chemins de fer.

M. Queval a imaginé aussi un système d'indicateur des trains ayant quatre aiguilles qui se trouvent cachées à l'état normal, et qui n'apparaissent que successivement dans un sens ou dans l'autre, suivant la direction des trains et quand un, deux, trois ou quatre convois sont engagés en même temps sur la voie. Dans cet appareil, comme du reste dans les télégraphes du même inventeur, l'effet est préparé par un courant direct et produit par un courant inverse.

Système de M. de Lafollye.—Le système de M. de Lafollye, imaginé en 1857, appartient à la catégorie que j'ai désignée, dans mon *Exposé des applications de l'électricité*, sous le nom de *systèmes automatiques par avertissement*, et les moyens qu'il a employés pour l'établir sont analogues en principe à ceux que j'ai employés moi-même en 1854, dans le système que j'ai décrit page 185 de mon ouvrage. Comme dans ce système, en effet, M. de Lafollye emploie, pour établir la liaison télégraphique entre les trains en mouvement et le

circuit de ligne, des frotteurs adaptés aux convois et agissant sur le circuit par l'intermédiaire de bandes métalliques placées sur la voie de distance en distance ; comme dans mon système encore, M. de Lafollye emploie des appareils fixes sur lesquels réagissent les trains, et qui, en réagissant à leur tour sur des appareils mobiles portés par les convois, servent d'intermédiaires pour fournir les signaux automatiques. Il est vrai que M. de Lafollye emploie à cet effet un beaucoup plus grand nombre d'appareils que moi ; mais je ne sais si on peut regarder cela comme un perfectionnement, surtout si l'on considère que les appareils fixes ne sont pas placés aux stations, et exigent par conséquent, pour être préservés, une installation toute particulière en différents points de la voie. Quoi qu'il en soit, voici en quoi consiste le système en question :

Tout le long de la voie, à des distances alternativement de 5 et de 1 kilomètre, se trouvent échelonnés des systèmes de conjoncteurs composés de quatre bandes métalliques, dont deux L et M, fig. 48, sont isolées au moyen de champignons

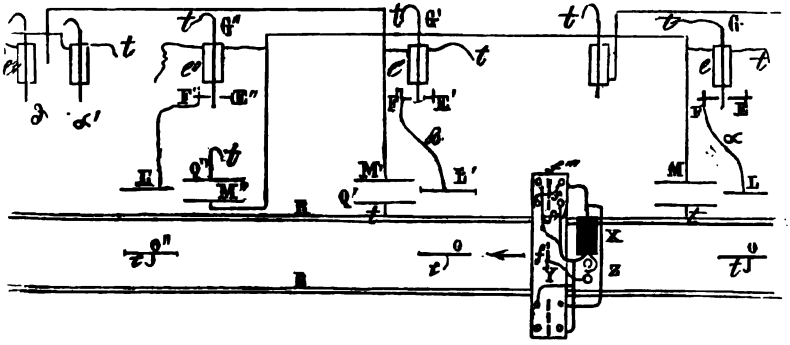


Fig. 48.

de porcelaine, comme dans le système Bonelli ; les deux autres Q et O communiquent avec le sol ; elles sont d'ail-

leurs toutes infléchies vers leurs extrémités de manière à former des rampes, comme dans mon système. En face de chacun de ces systèmes de conjoncteurs se trouve placé sur un poteau, à côté de la voie, un système électro-magnétique que nous décrirons, qui se trouve relié soit directement, soit indirectement, avec le sol, le circuit de la ligne et l'un des conjoncteurs L. Les liaisons de ces appareils avec le circuit de la ligne sont établies d'une manière particulière; au lieu de se correspondre directement de l'un à l'autre, le fil de ligne joint ensemble successivement tous les appareils pairs et tous les appareils impairs, de telle sorte que si un courant est envoyé à travers le système *e*, ce même courant réagit sur l'appareil *e''* sans pénétrer à travers l'appareil *e'*. Nous verrons plus tard les motifs de cette disjonction.

Les appareils mobiles portés par les trains se composent 1° d'une pile à sable X, d'une sonnerie électrique à mouvement d'horlogerie Z et d'un inverseur Y, qui est relié aux appareils précédents, et qui porte en même temps les frotteurs qui doivent mettre les trains en rapport avec le circuit de la ligne.

Cet inverseur consiste dans une espèce d'auge en bois renversée, revêtue à l'extérieur de zinc ou de tôle peinte dont

Fig. 49.

la figure 49 représente la coupe perpendiculairement à la longueur. Cette auge est placée au-dessous des wagons transversalement par rapport à la voie, de manière que ses extré-

mités dépassent les barres métalliques de la voie formant conjoncteurs. Au fond de l'auge, et dans le plan des conjoncteurs, sont suspendues par des charnières des lames de ressorts R garnies d'une touche pesante de cuivre à leur extrémité libre. Enfin, de chaque côté de ces lames de ressort sont fixées également au fond de l'auge deux tiges Q, S, terminées par des touches de platine et communiquant chacune avec un pôle de la pile placée sur le même véhicule, et avec la sonnerie.

Il résulte de cette disposition que, quand le train vient à passer au-dessus des conjoncteurs échelonnés sur la voie, les lames de ressort de l'inverseur se trouvent repliées et appuient, suivant le sens du mouvement du convoi, soit sur la tige Q, soit sur la tige S, et si les liaisons électriques avec ces tiges sont établies, comme l'indique en Y la fig. 48, les effets électriques se passeront de la manière suivante : 1° quand le train passera au-dessus des conjoncteurs L et O, les frotteurs de l'inverseur *f*, *f'* qui les rencontreront mettront la sonnerie Z en rapport momentané avec un circuit correspondant à l'appareil électro-magnétique *e*. Si ce circuit est complété par cet appareil et le sol, comme le frotteur *f* est en rapport avec le pôle + de la pile, et le frotteur *f'* avec le pôle — par l'intermédiaire de la sonnerie, celle-ci se mettra à sonner. Si, au contraire, ce circuit n'est pas completé, la sonnerie se taira. 2° Quand le train passera au-dessus des conjoncteurs M et Q, les frotteurs *f''*, *f'''* seront mis en rapport, le premier avec le pôle + de la pile, le second avec le pôle —, et un courant pourra être envoyé de M dans les appareils électro-magnétiques *e*, *e''* par le fil de ligne; car ce courant sera complété par le sol avec lequel les appareils précédents sont en communication, et par le conjoncteur Q mis en rapport avec le frotteur *f'''*. Sous l'influence de ce courant, une action pourra être produite sur les appareils indicateurs électro-magnétiques, et ceux-ci, en

réagissant à leur tour sur le circuit en rapport avec les premiers conjoncteurs L et O, L″, O″, pourront exercer, comme nous l'avons vu, une action sur la sonnerie électrique du prochain convoi qui passera, soit que ce convoi vienne de gauche à droite, soit qu'il vienne de droite à gauche, car on peut remarquer qu'à la station *e″* les conjoncteurs L″ et O″, au lieu de précéder les conjoncteurs Q″ et M″, comme à la station *e*, les suivent au contraire. Voici maintenant en quoi consistent les appareils électro-magnétiques *e*, *e′*, *e″*, etc.:

Ce sont de simples relais conjoncteurs adaptés à un système électro-magnétique combiné par M. de Lafollye, mais qui a un grand rapport avec celui du Père Cecchi. Ce système électro-magnétique n'est rien autre chose qu'un électro-aimant A (fig. 50), dont les branches de fer B, B′ (une

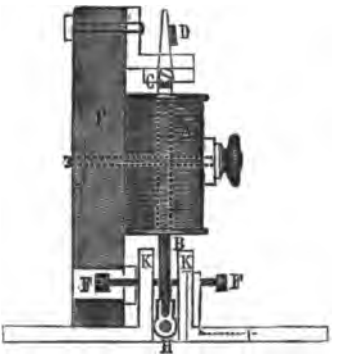


Fig. 50.

seule est visible sur la figure), au lieu d'être fixes à l'intérieur des bobines, sont mobiles et articulées sur la culasse de fer C, qui les réunit. Ces branches oscillent entre les pôles de deux aimants permanents K, K, placés en face l'un de l'autre, et se trouvant polarisées par le passage du courant à travers les bobines, jouent le rôle d'une armature aimantée placée entre les pôles de deux élec-

tro-aimants. Elles peuvent donc être inclinées soit d'un côté, soit de l'autre, suivant le sens du courant qui agit sur elles, et rester dans la dernière position qu'elles ont prise, tant à cause du magnétisme rémanent qui maintient l'action exercée, qu'en raison de la réaction du magnétisme des aimants sur le fer doux qui les constitue. Ces palettes oscillantes, d'ailleurs reliées ensemble par une traverse de cuivre et mises en communication avec la terre, ont leur course limitée par deux vis de cuivre F et F, dont l'une forme le contact du relais et doit être mise en rapport avec les conjoncteurs de la voie L, L′, L″, etc. Enfin, dans leur jeu, ces palettes réagissent sur une fourchette H, montée sur un axe horizontal qui porte une aiguille. Cette aiguille se meut sur un cadran et, suivant qu'elle est inclinée à droite ou à gauche, elle indique que la voie est *libre* ou *fermée*.

Les liaisons de cet appareil avec le circuit de la ligne, les conjoncteurs de la voie et le sol sont très-simples. Une des extrémités du fil des bobines est reliée avec le fil de ligne et le conjoncteur M; et l'autre extrémité communique avec le sol et la vis F, mise en rapport avec le conjoncteur L. Nous remarquerons seulement que la disposition des conjoncteurs de la voie est renversée aux deux extrémités de chaque liaison télégraphique, c'est-à-dire d'une station paire à une station paire et d'une station impaire à une station impaire; nous en verrons à l'instant les motifs.

Si on a bien saisi la description précédente, on pourra facilement comprendre que toutes les fois qu'un convoi passe devant un des appareils telégraphiques échelonnés sur la voie, il fait fonctionner en même temps deux de ces appareils, celui devant lequel il passe et celui avec lequel ce dernier est relié, qui est situé à cinq kilomètres. Ces deux appareils indiquent, par la situation de leur aiguille, le signal de la voie fermée. Par conséquent tout le temps qu'un convoi circulera entre ces deux appareils, il sera certain qu'un

signal d'alarme le protégera ; mais, avant d'arriver au second appareil, il aura rencontré un appareil intermédiaire qui, en réagissant de la même manière que précédemment, couvrira sa marche pendant quatre nouveaux kilomètres, et, lorsqu'il arrivera à l'appareil primitivement affecté par le courant, il pourra réagir de nouveau sur lui, mais cette fois pour envoyer le signal de la voie libre. Il suffira, pour cela, que l'émission du courant soit faite en sens inverse de ce qu'elle avait été primitivement ; et c'est pour cela que les conjoncteurs Q″ et M″ sont placés en sens inverse des conjoncteurs Q et M. De cette réaction, il résultera donc que les deux premiers appareils mis en mouvement fourniront le signal de la voie libre, et le convoi ne sera plus dès lors protégé que par les deux derniers qui changeront de signe après un nouveau parcours de quatre kilomètres, et après avoir été remplacés eux-mêmes par les indications de deux autres appareils, etc. Ainsi, au moyen de ce système, un convoi, par les signaux qu'il fournit, couvre perpétuellement sa marche sur un espace de quatre kilomètres.

Voyons maintenant ce qui arriverait si le mécanicien d'un convoi, ne tenant pas compte des indications des appareils électro-magnétiques, continuait sa marche sur la section de la voie couverte par ces appareils. Supposons d'abord que le train aille de gauche à droite : au moment où il passerait sur les conjoncteurs L et O, fig. 48, le circuit à travers la sonnerie électrique serait fermé. En effet, les palettes de l'appareil électro-magnétique *e* seraient alors mises en contact avec la vis du relais qui communique avec le conjoncteur L, et le courant irait de F en L, de L en F, de F à la terre par les palettes de l'électro-aimant *e*, puis reviendrait par le conjoncteur O en F. La sonnerie électrique serait donc mise en mouvement, et le mécanicien serait prévenu qu'un train circule à moins de cinq kilomètres en avant de lui ; il ralentirait donc sa vitesse en conséquence.

Si le train dont nous venons d'analyser la marche, au lieu de se diriger de gauche à droite, se dirigeait de droite à gauche, c'est-à-dire en sens contraire de celui qui a fourni les indications, un effet analogue à celui que nous venons de décrire se manifesterait. Supposons, en effet, que ce train passant devant l'appareil e'' ne tienne pas compte de l'avertissement donné par l'aiguille : au moment où il passera sur les conjoncteurs L″ et O″, le circuit à travers la sonnerie sera complété, et le courant suivra la direction suivante : f, L″, F″, t, O″, f'. La sonnerie tintera donc comme dans le premier cas, et l'on sera prévenu. D'un autre côté, le train qui vient en sens contraire sera également prévenu au moment de son passage devant l'appareil e', de sorte que les deux convois auront un kilomètre pour s'arrêter.

Il est facile de comprendre, d'après l'inspection de la figure, que si au lieu d'avancer les trains reculaient, les effets précédents ne seraient pas changés, car les communications entre les appareils électro-magnétiques et les pôles de la pile se trouveraient renversées par suite du changement d'inclinaison des frotteurs. On obtiendrait donc dans ce cas, comme dans celui d'une marche normale, des indications correspondantes. Il en serait de même si l'inverseur était retourné bout pour bout, ou si le train était retourné sur lui-même.

Si les trains en passant sur les conjoncteurs L et O peuvent réagir sur les appareils électro-magnétiques e, e', e'', de manière à leur faire fournir des signes automatiques, à plus forte raison les employés des gares peuvent-ils obtenir les mêmes effets au moyen de transmetteurs qu'ils ont à leur portée. On remplacerait alors de cette manière les disques-signaux destinés à indiquer si la voie est libre ou encombrée aux stations.

Système de M. Marqfoy. — M. Marqfoy commence la description de son système par l'introduction suivante :

« On a proposé, dit-il, bien des systèmes pour produire des signaux à distance à l'aide de l'électricité; mais *tous, sans exception, ont un défaut essentiel : aucun d'eux ne donne la preuve de l'exécution du signal.* Dès lors, on ne peut leur attribuer la moindre confiance, et à l'heure qu'il est les trains courent des dangers permanents. Mes appareils procurent une sécurité absolue, parce qu'ils remplissent les conditions suivantes : 1° lorsqu'on manœuvre un signal à distance, un répétiteur mû par le signal lui-même indique d'une manière certaine si le signal a été réellement fait; 2° l'exécution des signaux est confiée à la main de l'homme, et quand le signal ne fonctionne pas, il y a toujours un agent présent qui le constate; 3° sur la voie unique, les appareils sont placés contre le mur extérieur des stations; les signaux sont ainsi en vue des agents de la station, des agents des trains et même des voyageurs. Sur la double voie et aux aiguilles, de même qu'à l'entrée des stations, les appareils sont encore en vue de tous les agents qu'ils intéressent; 4° en aucune circonstance, les appareils n'indiquent de faire partir un train s'il doit être retenu ; 5° lorsque par une cause quelconque, rupture de fil, mauvais état des piles, etc., l'appareil ne fonctionne pas à distance, il accuse toujours son dérangement; 6° lorsque l'électricité atmosphérique pénètre dans l'appareil et est assez forte pour le faire mouvoir, elle ne peut jamais détruire le signal qui annonce que la voie est engagée; 7° les signaux s'exécutent au passage de tous les trains et non dans les cas spéciaux d'irrégularité; le mauvais entretien des appareils, les oublis, les manœuvres ne sont plus possibles.

« Mes appareils sont de quatre sortes et ont pour but : 1° d'empêcher les accidents dus aux erreurs d'aiguilles; 2° d'empêcher deux trains d'aller à la rencontre l'un de l'autre ou de se rejoindre sur la voie unique; 3° d'empêcher deux trains allant dans le même sens de se rejoindre sur la

voie double ; 4° de couvrir les stations, ainsi que le font les disques mécaniques actuellement en usage. »

Je ne discuterai pas en ce moment la question de savoir si la disposition et le mode d'installation des appareils de M. Marqfoy répondent à l'annonce pompeuse qu'il en fait; mais pour prétendre qu'aucun des appareils imaginés avant lui ne donne la preuve de l'exécution du signal envoyé, il faut, ce me semble, que cet ingénieur ne soit guère au courant des systèmes qui ont été présentés. S'il avait fait une étude spéciale des applications électriques, il aurait vu que les conditions dont il parle ont été remplies dans beaucoup des appareils que nous avons décrits dans le tome deuxième de notre *Exposé*, et il aurait été peut-être plus indulgent pour ses devanciers.

Quoi qu'il en soit, voyons comment M. Marqfoy obtient les résultats qu'il annonce.

Comme il le dit, ses appareils sont de quatre sortes, et se composent : 1° d'un indicateur de la marche des trains; 2° d'un appareil pour empêcher leur rencontre; 3° de disques-signaux mus par l'électricité pour indiquer la manœuvre des aiguilles; 4° de grands disques-signaux pour couvrir les stations.

Les appareils indicateurs de la marche des trains remplissent à peu près le même objet que ceux de M. Regnault, dont nous avons parlé précédemment, et ils ne diffèrent de ceux-ci que par quelques détails mécaniques.

La figure 1, pl. II, représente l'élévation d'un de ces appareils qui se compose, comme on le voit, de trois mécanismes différents. Le premier de ces mécanismes, qui occupe la partie supérieure de l'appareil, a pour objet la rotation d'un disque rouge et blanc qui, à chaque demi-révolution, présente le signal rouge ou le signal blanc (c'est-à-dire le signal de la voie fermée et de la voie ouverte). Le second mécanisme, qui est placé au-dessous du premier et qui se trouve relié

électriquement avec le mécanisme précédent appartenant à une station opposée, a pour effet de réagir mécaniquement sur une aiguille, de manière à la faire incliner seulement dans le cas où le disque de cette station opposée est au rouge. Enfin, le troisième mécanisme, renfermé dans le socle de l'appareil, se compose d'un commutateur à cinq contacts, dont nous allons étudier à l'instant les fonctions.

Les détails de ces mécanismes sont faciles à saisir. P est la palette de l'électro-aimant qui commande le mouvement du premier mécanisme ; *d* est la détente qui est disposée comme celle des sonneries Bréguet (voir notre 2e volume, page 51); le bras de cette détente porte en dehors de la platine une noix angulaire *g* qui, en se déplaçant au moment de la chute de la détente, écarte la lame de ressort L, et par suite l'échancrure *n* qui retient la roue R. Celle-ci, devenant libre, fait tourner le disque ; mais en même temps une roue à chevilles placée derrière la platine, et qui se trouve également mise en mouvement, relève le bras de la détente, qui rappelle la lame L à sa position primitive, et par suite l'échancrure *n* vient de nouveau buter la roue R. Si donc cette roue R porte deux dents, chaque fermeture de courant a pour effet un demi-tour du disque, et par suite l'apparition alternative des signaux blanc et rouge.

Sur l'axe vertical qui porte le disque se trouve une excentrique X, à portée de laquelle est adapté un levier articulé L′, muni d'une mâchoire et faisant bascule en K. La partie inférieure de ce levier est munie d'un ressort qui oscille entre deux pointes de vis *m*, *m′*, dont l'une est en rapport avec le second mécanisme de l'appareil correspondant.

Ce second mécanisme est à peu près semblable à celui des télégraphes à cadran ; l'échappement seul en diffère par le nombre des dents. Cet échappement est composé de deux roues juxtaposées, et chaque roue a deux dents distantes l'une de l'autre de 180°. Les dents de l'une sont en avance de 45°

sur les dents de l'autre. De cette façon, lorsqu'elles viennent buter tour à tour sur leur arrêt, elles donnent à l'aiguille l'une ou l'autre des deux positions 0° et 45° que celle-ci doit occuper.

La figure 1, pl. II, représente l'appareil muni de trois commutateurs ; mais un seul est réellement utile dans la pratique. Les boutons semblables de ces commutateurs communiquent entre eux par des lames métalliques clouées dans la boîte, sauf les boutons placés sur la verticale qui doivent rester libres dans les deuxième et troisième commutateurs.

La manœuvre de ces commutateurs s'opère avec une clef que le chef de la station peut enlever à volonté. Comme le mouvement du commutateur doit toujours être opéré dans le même sens, une roue à rochet placée sur l'axe de ce commutateur n'en permet le mouvement que dans ce sens unique. Pour faire tourner mécaniquement le disque, un poussoir se trouve ajouté à l'appareil.

Supposons maintenant deux appareils indicateurs placés à deux stations A et B, et reliés électriquement de telle manière que le disque de A réagisse sur l'aiguille de B, et réciproquement : cette liaison télégraphique, grâce à la disposition des instruments, peut être obtenue avec un seul fil, car le courant qui met en mouvement le disque de B peut être coupé par suite de la rotation de ce disque et être renvoyé par le même fil dans le mécanisme à aiguille de A, où il produit l'indication voulue.

Au moment du passage d'un train devant la station A, le chef de gare manœuvre le commutateur du bouton 1 au bouton 3 ; ce commutateur passe ainsi en tournant dans le sens 1, 2 et 3 sur le bouton 2 qui communique avec la pile ; le courant est alors fermé à travers l'appareil de la station B ; le disque de cette station, qui était au blanc, passe au rouge, et le chef de B est prévenu qu'un train se dirige vers la station. La manœuvre opérée, le levier L′, qui touchait primitivement la vis correspondante à la position du disque blanc,

va toucher la vis correspondante au disque rouge et va envoyer un courant à travers l'électro-aimant du mécanisme à aiguille de A, dont l'aiguille s'inclinera de 45°, ce qui préviendra le chef de station de A que son signal est bien parvenu à B.

Aussitôt que le train sera arrivé à la station B, le chef de cette station pressera le poussoir de son appareil, et aussitôt son disque se mettra au blanc; mais en même temps le levier L′ ayant quitté sa position, viendra frapper la vis en rapport avec cette nouvelle position du disque, et l'aiguille de A, qui était inclinée à 45°, se trouvera redressée, ce qui préviendra le chef de la station A que le train a dépassé B. Alors ce dernier ramènera son commutateur à sa position initiale; un timbre adapté à l'appareil prévient d'ailleurs quand le disque est mis au rouge.

M. Marqfoy, dans sa notice, démontre que, par suite du mode de construction de ses appareils, il est impossible 1° d'annoncer un train quand le disque est au rouge ; 2° d'incliner spontanément les aiguilles des deux appareils en correspondance; 3° d'obtenir les moindres confusions présentées par les dépêches ordinaires; 4° d'obtenir des indications susceptibles d'induire en erreur par suite de la réaction des courants accidentels; 5° de ne pas être averti si le fil de ligne s'est rompu par inadvertance. Tous ces avantages, selon lui, sont autant de garanties précieuses pour la sécurité des chemins de fer, surtout en introduisant dans les règlements qu'aucun train ne pourra circuler entre deux stations qu'autant que la présence d'un autre train ne sera pas signalée.

Lorsque plusieurs autres trains doivent être lancés à quelques instants d'intervalle entre deux stations, le système précédent ne pourrait suffire à lui seul, et c'est pour le rendre efficace, dans ce cas, que M. Marqfoy a ajouté les trois commutateurs dont nous avons parlé. Ces commutateurs, en réagissant sur des planchettes particulières, empêchent for-

cément les erreurs de se produire. Voici, en effet, comment on opère avec ces appareils.

Au moment du passage du premier train, le chef de la station A manœuvre son premier commutateur, qui produit les effets que nous connaissons. Lors du passage du second convoi, le chef fait marcher le second commutateur, qui fait monter une planchette devant le premier, tout en dégageant le second de la planchette qui l'obstruait d'abord. Or, cette planchette a précisément pour but de constituer un obstacle matériel au chef de la station qui, par oubli, ou par la force de l'habitude acquise dans l'expédition d'un seul train, voudrait remettre son commutateur au repos dès le redressement de l'aiguille opéré. La vue de la planchette qui a découvert le deuxième commutateur lui indique ce qu'il a à faire, c'est-à-dire de renvoyer le signal rouge pour la seconde fois, pour montrer au chef de la station B que, malgré l'arrivée du premier train, la voie est encore engagée. Les mêmes effets se reproduisent pour le troisième commutateur lors du passage d'un troisième train.

J'ajouterai, pour terminer cette description des appareils indicateurs, qu'ils sont placés à l'intérieur des gares, de manière à être vus par les chefs de station, les employés de service et les mécaniciens des convois qui passent. Le disque rouge et blanc est d'ailleurs de dimension assez grande pour être vu aisément à quelque distance. Avec un contrôle aussi multiplié, les signaux doivent, suivant M. Marqfoy, être forcément perçus.

Les appareils pour empêcher la rencontre des convois se rapprochent un peu de ceux que nous venons d'étudier; mais ils sont plus simples, et leur manœuvre est confiée aux cantonniers. Pour en comprendre le but, il faut savoir que le règlement actuel des lignes télégraphiques prescrit que, *dès qu'un train s'arrête en route, ou que dès qu'un train en retard reconnaît que le train qui le suit n'est plus à la distance chro-*

nométrique qui doit règlementairement le séparer de lui, le chef du train doit détacher du convoi un agent qui va, à 500 *ou* 800 *mètres en arrière, faire le signal d'arrêt en attendant que le train puisse reprendre sa marche.* Si cette règle était toujours suivie, il n'arriverait jamais d'accident; mais l'expérience a démontré que le plus souvent cette prescription n'était pas suivie, soit que les chefs de train n'aient pas conscience du danger qu'ils peuvent courir, soit parce qu'ils oublient de détacher un agent pour les signaux, soit par suite de l'extinction des fanaux de nuit ou de l'oubli des pétards. Or, c'est pour parer à cet inconvénient que Marqfoy a imaginé l'installation des appareils dont nous allons maintenant parler.

L'appareil en question n'est en lui-même qu'un simple appareil à signaux analogue à celui que nous avons étudié précédemment; il est manœuvré par l'intermédiaire d'un levier semblable, quant à la disposition, à celui à l'aide duquel on manœuvre les grands disques-signaux. Mais au lieu de réagir sur des fils de traction, ce levier exerce son effet sur un commutateur tellement disposé que quand le courant passe, le disque de l'appareil avec lequel il est en relation est blanc; quand le courant cesse, au contraire, ce disque devient rouge. Ce levier, d'ailleurs, étant appliqué à l'état de repos contre la palette de l'électro-aimant de l'appareil auquel il appartient, produit mécaniquement le même effet sur cet appareil que si le courant le traversait. Mais aussitôt que ce même levier est écarté de sa position de repos, la palette est relevée, et le disque se met au rouge. Ainsi, par le fait, le levier manipulateur en question réagit d'une manière double, électriquement, sur l'appareil avec lequel il est en correspondance électrique, et mécaniquement sur l'appareil auquel il appartient.

Un appareil semblable à celui que nous venons de décrire étant disposé dans chaque cabane du cantonnier, voici ce

qui arrive au moment du passage des trains; disons d'abord qu'au repos tous les appareils sont au blanc.

Au moment du passage d'un train, le cantonnier de service écarte le levier de son appareil de sa position de repos, et par ce seul fait le disque de l'appareil se met au rouge. Le garde prend alors son drapeau rouge (ou, le soir, sa lanterne rouge) et fait le signal d'arrêt à tout train qui se présente à la suite de celui qui vient de passer. Le premier train, continuant sa route, passe bientôt devant la cabane du second cantonnier; et celui-ci répète la manœuvre précédente. Mais le levier manipulateur de ce nouvel appareil étant écarté de sa position de repos, non-seulement le disque correspondant est mis au rouge, mais le commutateur sur lequel ce levier agit, fait circuler un courant à travers le premier appareil, qui est remis par ce seul fait au blanc. Le premier cantonnier se trouve donc par là prévenu du passage du train à la seconde cabane, et ne s'en inquiète plus; il remet alors le levier de son appareil à sa position de repos jusqu'au passage d'un autre train, et ainsi de suite.

Avec ce système, il doit être de rigueur que deux trains ne puissent circuler ensemble entre deux cabanes de cantonnier.

Les appareils de M. Marqfoy pour les erreurs d'aiguilles sont encore les mêmes que les précédents; ils sont spécialement destinés à prévenir les chefs des convois si les aiguilles des rails sont bien dans la position voulue pour la circulation des trains.

Pour obtenir ce résultat, un appareil électrique à signaux de la même nature que ceux que nous avons étudiés, est placé à environ 500 mètres de l'aiguille qu'il s'agit de traverser. Le levier qui réagit sur l'aiguille elle-même est relié à cet appareil par un fil conducteur, et un commutateur se trouve disposé sur ce levier de telle façon que quand celui-ci est dans la position voulue pour placer l'aiguille dans

la voie principale, un courant électrique se trouve fermé et fait apparaître sur l'appareil le signal blanc. Dans la position contraire du levier, aucun courant n'est fermé, et le disque de l'appareil revient au rouge. Le même effet se manifeste quand le jeu de l'aiguille n'est pas complet, c'est-à-dire quand l'aiguille n'appuie pas bien contre le rail.

Quant à l'idée de M. Marqfoy de remplacer les disques-signaux actuellement employés sur les chemins de fer par des appareils électriques, elle est déjà bien ancienne. Depuis longtemps, en effet, on avait reconnu que les effets de la dilatation sur les fils de traction et le détirement de ces fils eux-mêmes présentaient des inconvénients d'autant plus graves que ces appareils ne fournissant pas de contrôle on courait risque d'envoyer des signaux qui ne se trouvaient pas reproduits. D'ailleurs la difficulté de la traction de fils un peu longs dans les courbes et les ruptures continuelles de ces fils étaient encore des raisons péremptoires qui devaient depuis longtemps faire rechercher d'autres moyens d'avertissement. Déjà, en 1853, j'avais publié dans le *Moniteur industriel* la description d'un système électrique pour arriver à ce résultat, mais j'abandonnai mon idée quand je combinai mon système de sécurité pour les chemins de fer. Or, c'est ce système de disques-signaux que M. Marqfoy a repris et auquel il a ajouté un répétiteur pour fournir le contrôle des signaux envoyés. Dans la disposition qu'il lui a donnée, cet appareil se compose d'un mécanisme analogue à ceux que nous avons décrits précédemment, mais de plus grandes dimensions et sur lequel réagit, au lieu d'un simple commutateur, un levier articulé semblable à celui des appareils des cantonniers. Ce levier est placé à la station ainsi que le mécanisme répétiteur qui n'est que la reproduction en petit de l'appareil principal.

Comme les disques-signaux qui précèdent les stations n'expriment leurs signaux que par leur position par rapport à la voie, les appareils que M. Marqfoy a destinés à cet

usage n'accomplissent qu'une rotation de 90° pour chaque échappement, et c'est une roue à 4 cames placée sur l'axe de rotation des grands disques qui, en réagissant sur un levier, oscillant comme le levier L′ de la fig. 1, pl. II, fait fonctionner à l'aide d'un second fil l'appareil répétiteur placé à la station.

Système de M. Lenoir. — Ce système, qui n'est qu'une copie défectueuse de celui de M. de La Follye, a pour but, non-seulement d'indiquer que les gares sont dégagées et qu'on peut y entrer impunément, mais encore d'obtenir que la distance entre deux trains cheminant sur la même voie soit partout et toujours de cinq ou au moins deux kilomètres. Voici la description de ce système, publiée dans le *Cosmos* du 19 février 1858 :

« Les signaux se donnent toujours par le moyen de disques installés sur des poteaux ; mais les disques n'ont plus deux surfaces peintes, l'une en blanc, l'autre en rouge. Le disque en tôle, immobile, toujours placé transversalement, ou dont la surface regarde la voie, est percé en son centre d'une ouverture de dix centimètres environ de diamètre ; le ciel, vu par le mécanicien à travers cette ouverture, remplace la surface blanche des disques actuels. Un verre rouge, engagé dans une monture de lunettes en métal léger, portée par un bras de levier qui tourne autour d'un point fixe, et maintenue en équilibre au moyen d'un contre-poids placé à l'autre extrémité du levier, vient au moment voulu recouvrir l'ouverture circulaire du disque ; et ce verre, éclairé pendant le jour par la lumière de la région opposée du ciel, pendant la nuit par une lampe, fait l'effet de la face rouge des disques ordinaires. Les poteaux-disques, tels que nous venons de les décrire, sont installés le long de la voie de deux en deux kilomètres, ou de cinq en cinq kilomètres, suivant la distance minimum à laquelle on veut maintenir les convois. Il s'agit d'obtenir : 1° que tout train qui passera de-

vant un premier poteau A, dont le disque ouvert au centre ou sans verre rouge indique que la voie est libre, fasse que la monture de lunette et le verre rouge qu'elle porte, viennent recouvrir le trou central, et indiquer aux trains suivants que le premier train circule entre le poteau A et le poteau suivant B; 2° que ce même premier train, en passant devant le poteau B, et en même temps qu'il couvre l'ouverture du disque de ce poteau B du verre rouge, découvre l'ouverture du disque du poteau A, en faisant tourner le bras de levier qui porte le verre rouge. Or, dans le système de M. Lenoir, ces deux séries de mouvement s'exécutent avec une simplicité, une éfficacité, une régularité, vraiment remarquables. (Nous ne sommes pas de l'avis du *Cosmos*.)

« L'agent de transmission de mouvement choisi par lui est l'électricité, et nous ne comprenons pas qu'on puisse en choisir un autre, le mercure, par exemple, comme le fait M. Baranowski. Mais comment l'électricité agit-elle? Le levier qui entraîne la lumière et le verre rouge est porté vers son milieu par un autre levier soudé à angle droit, dont le bras inférieur, armé sur ses deux faces d'un morceau de fer doux, oscille entre deux électro-aimants placés à droite et à gauche, vers le sommet du poteau indicateur. Si c'est l'électro-aimant de droite qui est actif, et si le bras du levier est attiré à droite, la lunette et le verre rouge viennent couvrir l'ouverture du disque. Si c'est l'électro-aimant de gauche qui agit, et si le bras de levier est attiré à gauche, la lunette et le verre rouge cessent de couvrir l'ouverture. Reste donc à obtenir que 1° le train, en passant devant le poteau A, ferme un circuit et fasse naître un courant qui rende actif l'électro-aimant de gauche; 2° que ce même train, en passant devant le poteau B, ferme de nouveau le circuit et excite un courant tel qu'il rende actif à la fois l'électro-aimant de droite du poteau B et l'électro-aimant de gauche du poteau A. Sous le marchepied de la locomotive et du tender, on a fixé deux lames métalliques en acier

formant ressorts convexes en dessous, et qui doivent, dans le passage du train, toucher et presser une tige de fer horizontale portée par un support en bois installé en dehors de la voie et à gauche, c'est-à-dire du côté des poteaux indicateurs. Une seule lame de contact suffirait à la rigueur; mais il est plus prudent d'en mettre deux, afin que, si la première fait défaut, la seconde établisse le contact avec la tige horizontale. Sur la locomotive ou le tender on a disposé une pile de Bunsen de quatre éléments de petites dimensions, communiquant par un de ses pôles avec la jante de l'une de ses roues, par l'autre pôle avec la lame du ressort de contact. Deux fils tendus le long de la voie, et qui n'ont pas besoin d'un isolement parfait, parce que l'action du courant s'exerce à de faibles distances, communiquent par leurs deux extrémités, l'un avec une des bobines de l'électro-aimant et la tige horizontale, l'autre avec l'autre bobine de l'électro-aimant et le rail. Nous ne nous arrêterons pas à décrire en détail la marche du courant; nous dirons simplement que, dès que la lame-ressort arrive vers le poteau B au contact de la tige horizontale, les effets que nous avons décrits sont produits, c'est-à-dire que le verre rouge cesse de couvrir l'ouverture sur le poteau A et commence à couvrir l'ouverture du disque sur le poteau B.

« En résumé, en chaque station B, le passage de la locomotive ou du train ferme deux circuits, établit deux courants : l'un rend actif l'électro-aimant de gauche du poteau indicateur de cette station B, et par là même couvre du verre rouge l'ouverture centrale du disque; l'autre rend actif l'électro-aimant de droite de la station précédente A, et par là même écarte le verre rouge ou découvre l'ouverture centrale du disque de cette station. »

Système de M. Bergeys.—M. Bergeys, en s'inspirant des systèmes que nous avons décrits dans notre deuxième volume, a présenté, le 7 mars 1857, à l'Académie de Bruxelles, un

nouveau système qui a été l'objet du rapport suivant fait par M. Mauss.

. . . . . .

« Au lieu d'une lame conductrice fixée entre les rails près du sol, M. Bergeys propose d'établir, le long de la voie, un fil conducteur traversant une série d'appareils sur lesquels les convois agissent en passant, de manière à interrompre le courant électro-magnétique vis-à-vis de la place qu'ils occupent successivement dans leur marche; ces convois divisent ainsi le conducteur en autant de sections ou de tronçons qu'il y a d'intervalles entre les locomotives qui se suivent et entre les locomotives extrêmes et la station d'arrivée et de départ. Les pièces métalliques, fixées au convoi, qui agissent sur les appareils du fil conducteur, complètent le circuit entre les appareils de deux convois qui se suivent ou d'un convoi et d'une station extrême, et permettent une correspondance entre chacun de ces bureaux télégraphiques mobiles et celui qui précède et celui qui suit, quel que soit le nombre des convois engagés sur la même voie.

« Au lieu d'une correspondance par dépêche, M. Bergeys place sous les yeux du mécanicien-conducteur de la locomotive un cadran pourvu de deux aiguilles, appareil qu'il a nommé *stadiomètre différentiel*. Cet instrument indique à chaque instant l'intervalle qui sépare sa locomotive de la précédente. A cet effet, le cadran porte, à sa circonférence, des divisions égales qui correspondent chacune à un parcours connu, tel que 50 mètres, par exemple. La première aiguille, commandée par l'appareil de la locomotive qui précède, indique le nombre de divisions qui correspond à l'espace parcouru par cette locomotive, depuis la station de départ. Cette aiguille avance d'une division chaque fois que cet espace parcouru s'accroît de 50 mètres. La seconde aiguille commandée par l'appareil de la locomotive qui porte le stadiomètre que nous considérons, marque, sur le même cadran,

la distance parcourue par cette locomotive, à partir de la même station. Cette seconde aiguille avance comme la première d'une division pour chaque longueur de 50 mètres parcourue. L'intervalle compris entre ces deux locomotives est égal à la différence entre les deux distances parcourues à un instant donné et mesurées à partir d'une même station. Cette différence est indiquée par le nombre de divisions compris entre la première et la seconde aiguille du stadiomètre.

« La station de départ est aussi munie d'un stadiomètre à une seule aiguille, qui indique la distance parcourue par la dernière locomotive engagée sur la voie. Lorsqu'une nouvelle locomotive part de cette station, le mécanicien qui la dirige place la première aiguille de son stadiomètre sur la même division que l'aiguille du stadiomètre de la station, et la seconde aiguille sur le zéro. Le convoi de cette locomotive divise le fil conducteur, et reçoit de la locomotive qui le précède le courant qui fait marcher la première aiguille de son stadiomètre. Le courant de la pile qu'elle porte fait avancer la seconde et, de plus, l'aiguille unique du stadiomètre de la station, aiguille que l'on a eu soin de ramener au zéro du cadran au moment où la dernière locomotive a quitté la station.

« Les mêmes dispositions, prises au départ successif de toutes les locomotives, font connaître à tous les mécaniciens l'intervalle qui les sépare de la locomotive qui les précède; ils peuvent donc ralentir leur vitesse à un moment convenable, pour éviter une collision si le convoi précédent était retardé dans sa marche.

« Pour donner une idée des moyens que M. Bergeys emploie pour réaliser le système de communication télégraphique qui vient d'être décrit, nous indiquerons comment chaque convoi peut interrompre le courant, dans le fil de la ligne, pour le faire passer dans les appareils moteurs des ai-

guilles des stadiomètres, et comment les deux aiguilles d'un même stadiomètre sont mues la première par le courant de la pile du convoi qui précède et la seconde par le courant de la pile de son convoi.

« L'interruption du courant dans le fil conducteur est produit, par M. Bergeys, à l'aide d'une série d'appareils contenus dans un égal nombre de petites boîtes de bois posées dans la terre, isolées et disposées sur une ligne parallèle à la voie, en dehors et près des rails. L'appareil contenu dans une boîte se compose essentiellement de deux tiges verticales en fer, qui traversent la paroi supérieure et horizontale de la boîte, et la dépassent de la moitié environ de leur longueur. La partie inférieure de ces tiges, contenues dans la boîte, est entourée d'un ressort hélicoïdal qui soulève ces tiges mobiles dans des coulisses, et munie d'un talon que le ressort maintient en contact avec une petite pièce en fer horizontale fixe, laquelle établit la communication entre elles [1]. Les deux tiges d'une même boîte sont situées dans un plan perpendiculaire à l'axe de la voie, de sorte que les extrémités saillantes de ces tiges sont disposées sur deux lignes parallèles à la voie et distantes de l'intervalle qui existe entre deux tiges d'une même boîte.

« Un fil conducteur isolé s'étend d'une boîte à l'autre; il est fixé, par ses extrémités, à deux tiges contenues dans deux boîtes voisines; mais ces tiges appartiennent, l'une, celle du côté de la station d'arrivée, à la ligne des tiges les plus rapprochées de l'axe de la voie, l'autre à la ligne parallèle des tiges plus éloignées, de sorte que la communication, entre deux de ces fils conducteurs qui se suivent, a lieu par le contact des talons des deux tiges d'une même boîte contre la pièce métallique intermédiaire qu'elle renferme.

« La même disposition étant prise pour toutes les boîtes,

1. En réalité, la communication s'établit d'une manière un peu différente, mais moins facile à exposer et qui a pour objet de n'avoir de

le courant passe d'un fil à l'autre et parcourt toute l'étendue qui sépare les stations d'arrivée et de départ; mais il est interrompu aussitôt qu'en abaissant l'une des tiges, on fait cesser le contact entre le talon qu'elle porte et la pièce métallique qui établit la communication entre les deux tiges d'une même boîte.

« Pour produire mécaniquement cette interruption pendant le passage du convoi, les voitures qui le composent portent deux tringles métalliques, fixées sur le côté, à une distance de l'axe de la voie et à une élévation convenable pour comprimer successivement, en passant, toutes les tiges disposées sur les deux lignes parallèles à la voie. Pour faciliter l'action de ces tringles sur les tiges qu'elles doivent abaisser, celles-ci se terminent à leurs parties supérieures en forme de T ou de champignon, ce qui permet aux tringles de s'éloigner un peu de la ligne des tiges qu'elles doivent comprimer sans cesser d'agir sur elles. Chacune de ces tringles est composée d'autant de pièces qu'il y a de voitures, et pour maintenir le contact entre toutes ces pièces, malgré les variations que subit l'écartement des voitures pendant le mouvement, les deux tringles de chaque voiture se terminent, d'un côté en fourche, et de l'autre en lame simple. Les voitures sont disposées de manière que les fourches de l'une embrassent les lames de la suivante. Les extrémités des fourches et des lames sont arrondies inférieurement, pour ne point présenter de saillie qui pourrait heurter les champignons des tiges. Les extrémités de ces deux séries de tringles sont relevées, afin de comprimer graduellement et sans choc les champignons des tiges qu'elles doivent abaisser.

« La longueur des convois, et, par conséquent, des deux séries de tringles dépassant constamment 50 mètres, il s'ensuit que les tiges d'une boîte et quelquefois de deux seront

contact qu'entre l'une des tiges et la pièce fixe. Cette disposition, préférable au point de vue pratique, ne l'est pas sous le rapport théorique.

comprimées à la fois, de sorte que le convoi produira toujours l'interruption du courant, au moins dans une boîte, et que cette interruption aura successivement lieu entre les tiges contenues dans les boîtes vis-à-vis desquelles le convoi passe.

« Les tringles étant métalliques et en contact avec les champignons également métalliques, des tiges qu'elles compriment en glissant établissent la communication entre l'appareil du stadiomètre du convoi ou la pile qu'il porte et la tige comprimée, et par suite, avec la partie du conducteur de la ligne qui est fixée à cette tige.

« Rappelons que les tiges contenues dans les boîtes sont disposées sur deux lignes parallèles à l'axe de la voie, et que le fil conducteur entre deux boîtes relie les tiges appartenant à ces deux lignes, en suivant toujours le même ordre, c'est-à-dire que l'extrémité du fil du côté du départ sera toujours fixée à la tige la plus éloignée de la voie et l'autre à la tige de la boîte suivante qui en est la moins éloignée ; d'où il résulte que la tringle qui abaisse la tige la plus voisine de la voie divise le conducteur en deux sections, et communique avec la portion qui s'étend vers la station de départ, tandis que la tringle qui comprime les tiges les moins rapprochées communique, par l'autre section du conducteur, avec la locomotive qui précède ou avec la station d'arrivée.

« L'on conçoit qu'à l'aide de ces dispositions, et en installant une pile sur tous les convois, le courant fourni par la pile d'une locomotive passe dans l'appareil de la suivante ou de la station de départ, et que le stadiomètre de cette même locomotive reçoit le courant de la locomotive qui précède ou de la station d'arrivée.

« Les aiguilles des stadiomètres sont mises en mouvement par un appareil connu, composé d'un électro-aimant et d'un ressort qui agissent alternativement sur une petite masse de

fer, laquelle remplit les fonctions d'un balancier d'horloge, et fait avancer une aiguille d'une division à chaque oscillation complète. Le balancier est attiré par l'électro-aimant, lorsque le courant traverse l'appareil, et par le ressort lorsque ce courant est interrompu. Il suffit donc d'interrompre ce courant chaque fois que le convoi a parcouru un intervalle de 50 mètres, pour faire avancer l'aiguille d'une division.

« Cette interruption est produite à l'aide d'un petit levier ou pédale qui est soulevé ou dévié par un obstacle, convenablement disposé sur la voie, à chaque intervalle de 50 mètres, et qui peut être la boîte elle-même contre laquelle le levier s'appuiera en passant.

« Le levier, en déviant, écarte deux pièces métalliques, dont le contact est nécessaire pour la communication entre les appareils, et interrompt le courant qui se rétablit aussitôt que le levier a dépassé l'obstacle, et repris, sous l'action d'un ressort, la position convenable pour établir le contact et la continuité dans le conducteur. »

Nouveau système d'interrupteur kilométrique, de M. Th. du Moncel. — L'une des plus grandes objections qu'on ait faites aux différents systèmes proposés jusqu'ici pour prévenir électriquement et automatiquement les collisions sur les chemins de fer, était l'incertitude du jeu régulier des interrupteurs disposés sur la voie. On disait, avec raison, que des frotteurs élastiques passant très-rapidement au-dessus de bandes métalliques rigides devaient éprouver des soubresauts qui avaient pour résultat de provoquer infailliblement plusieurs interruptions et fermetures de courant au lieu d'une, et de produire par conséquent un trouble considérable dans les indications fournies. C'est, du reste, ce qu'a démontré l'expérience quand on a fait l'essai du système de M. Tyer sur le chemin de fer du Nord. Perfectionnez les interrupteurs, disaient les ingénieurs impartiaux, et vous aurez fait faire un grand pas à la question. Déjà M. Bellemare, par un

moyen ingénieux, était parvenu à résoudre le problème d'une manière satisfaisante pour le cas d'une rupture ou d'une fermeture de courant à effectuer sur un circuit fixe et invariable; mais son système était assez compliqué, assez dispendieux, et ne pouvait s'appliquer à des transmissions électriques passagères produites par des piles mobiles comme celles que nécessitaient le système de M. Tyer et le mien. Il était donc nécessaire de revenir à la disposition première que M. Tyer et moi avions adoptée, mais en faisant en sorte que les soubresauts des frotteurs fussent impossibles et que l'adhérence métallique fût parfaite; or, c'est ce problème que je viens de réaliser.

Dès l'année 1852, j'avais présenté à l'Institut une note sur le moyen d'empêcher les vibrations de la part des interrupteurs de certains compteurs employés dans l'horlogerie électrique; et ce moyen consistait à faire des deux pièces appelées à se toucher un système magnétique dans lequel la partie mobile était constituée par un aimant permanent dont la partie fixe n'était autre chose qu'un morceau de fer doux. Du contact de ces deux pièces résultait une adhérence magnétique qui s'opposait aux petites vibrations accidentelles. C'est un moyen analogue que j'ai employé dans le nouveau système d'interrupteur dont il est ici question; mais, pour qu'on puisse facilement le comprendre, il importe que je décrive en quelques mots les interrupteurs que j'emploie dans mon système. Qu'on imagine une barre de fer ou de fonte, longue de trois ou quatre mètres environ, infléchie vers ses extrémités et isolée soit au moyen de forts champignons de porcelaine au-dessus desquels elle se trouve fixée, soit au moyen de capuchons de cuir disposés d'une certaine manière, que j'ai indiqués dans mon traité des applications de l'électricité. Qu'on suppose cette barre placée au milieu de la voie, parallèlement aux rails, et disposée de telle façon qu'elle puisse être rencontrée par un frotteur à piston verti-

cal placé sous les tenders des différents convois, et l'on aura une idée du système d'interrupteur que j'avais adopté, système dans lequel la partie frottante se replie sur elle-même en appuyant sur les barres rigides de toute la force du ressort à boudin qui la sollicite. Or, comme nous l'avons dit, cette force, quelque considérable qu'elle puisse être, ne suffit pas pour empêcher certaines trépidations qui ont pour effet plusieurs fermetures et interruptions de courant.

Pour éviter cet inconvénient, je termine la partie mobile de mes frotteurs à piston par un électro-aimant tubulaire puissant, muni tant au pôle central qu'au pôle circulaire formé par la chemise de fer doux, de deux fortes semelles de fer. Cet électro-aimant est toujours animé par le courant d'un élément Bunsen placé sur le tender même qui porte le frotteur, et c'est lui qui sert à la fois de frotteur, de conducteur et d'organe propre à empêcher les trépidations. On conçoit, en effet, que si par son élasticité un ressort, quelque fort qu'il soit, peut permettre de petites trépidations (inappréciables, il est vrai, à la vue, mais suffisantes pour réagir électriquement), une adhérence magnétique de 100 ou 200 kilog. ne pourra se prêter facilement à un pareil mouvement; et quand bien même il s'y prêterait un peu, les parcelles de limaille de fer résultant du frottement de l'électro-aimant avec la barre rigide, parcelles qui restent interposées entre ces deux organes, rétabliraient toujours la continuité métallique nécessaire à la transmission du courant. Je n'ai pas besoin d'ajouter que les deux semelles de fer qui constituent les deux extrémités polaires de l'électro-aimant ne tenant à celui-ci que par des vis peuvent aisément être remplacées quand elles sont usées, ce qui permet d'entretenir toujours le système dans un état satisfaisant.

Pour éviter les inconvénients de l'encrassement ou de l'oxydation des barres de la voie, je fais précéder mes frotteurs d'une râpe d'acier et d'un pinceau métallique; seule-

ment, ces nouveaux organes ne doivent avoir aucune communication avec le circuit électrique.

Ce système d'interrupteur peut, du reste, être employé dans beaucoup d'autres applications de l'électricité que celle à laquelle je l'ai spécialement affecté, et sa forme doit nécessairement être modifiée suivant ces applications.

Avertisseur électrique de la manœuvre des disques-signaux de M. Jules Dufau. — Tout le monde connaît les disques rouges et blancs qui précèdent les stations des chemins de fer, et qui indiquent quand la voie se trouve libre ou encombrée à ces stations. On sait que la manœuvre de ces disques s'effectue au moyen de deux fils qui passent, de distance en distance, sur des galets, et qui sont tirés dans un sens ou dans l'autre au moyen de leviers *ad hoc*. Je ne défendrai certes pas l'installation de pareils disques, dont le principe mécanique jure d'une manière honteuse avec les progrès actuels des sciences ; et j'ai indiqué à maintes reprises comment ces disques pouvaient être avantageusement remplacés par des appareils à signaux portés par les trains eux-mêmes ; mais puisque les ingénieurs des chemins de fer ne veulent faire aucune concession à la science, il faut au moins que l'on soit averti si le signal qu'on a voulu envoyer est bien effectivement reproduit par le disque : ce qui n'arrive pas toujours, car, ainsi que nous l'avons déjà dit, les fils de traction se cassent fréquemment, ou s'allongent quelquefois suffisamment pour rendre le mouvement des disques insuffisant. D'un autre côté, les lanternes qu'on place derrière ces disques, pour les signaux de nuit, s'éteignent fréquemment, et il arrive alors qu'un convoi qui croit la voie libre, par suite de l'absence du signal d'alarme, s'avance avec confiance sans aucun avertissement secondaire pour le prévenir de l'obstacle qu'il va rencontrer. Si l'apparition du signal de la voie libre devient obligatoire pour qu'un train puisse approcher d'une station, il se trouve alors forcément arrêté par

l'absence du signal, et il s'écoule un temps toujours assez long avant qu'il puisse reprendre sa marche. Par suite, des accidents de rencontre peuvent survenir, sans parler du temps perdu inutilement.

M. Dufau, homme pratique attaché au chemin de fer d'Orléans, ayant été à même plus que personne de reconnaître ces inconvénients, s'est attaché à les faire disparaître par des moyens électriques, et, pour cela, il a établi entre la station et les disques une relation électrique telle, que le mouvement de ceux-ci pour atteindre les positions voulues en rapport avec les signaux de la voie libre et de la voie fermée, eût pour effet secondaire l'apparition de ces mêmes signaux à la station, sur un appareil électrique établi en conséquence. De plus, un système électro-thermométrique très-ingénieux, dont je vais indiquer à l'instant le principe, se trouve ajouté au mécanisme précédent, et avertit quand la lumière de la lanterne des disques est allumée ou éteinte. Au moyen de ce système, l'employé qui est chargé de la manœuvre des disques est donc toujours prévenu si le signal qu'il a envoyé est dans les conditions voulues pour qu'il soit constaté par les convois.

La disposition de ce système est excessivement simple : qu'on imagine, placés des deux côtés du mât qui supporte chaque disque, deux ressorts métalliques mis chacun en rapport télégraphique avec un électro-aimant spécial placé à la station. Admettons que ce mât porte une goupille métallique isolée, placée à la hauteur des ressorts et mise elle-même en rapport avec le fil de la station, soit par un fil, soit par le sol; on comprendra facilement que le mât étant tourné dans un sens ou dans l'autre pourra fermer le courant à travers l'un des deux électro-aimants de l'appareil de la station; chacun de ces électro-aimants pourra amener devant un guichet une plaque de papier sur laquelle seront écrits ces mots : *Voie libre, voie fermée,* et l'apparition de

l'une ou de l'autre de ces plaques indiquera à l'employé que le disque a bien accompli le mouvement nécessaire pour exprimer le signal envoyé. La figure 51, ci-dessous, représente cette partie du système de M. Dufau.

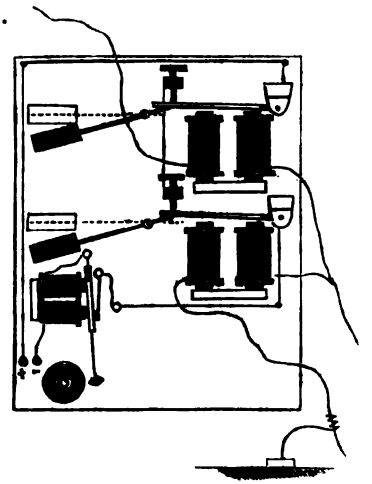


Fig. 51.

Comme les disques-signaux doivent toujours représenter un signal, l'un ou l'autre des deux électro-aimants dont nous avons parlé aura toujours son armature attirée, et celle-ci ne pourra être repoussée que dans le cas où le circuit serait interrompu, ou dans le cas d'une manœuvre incomplète du disque-signal. Mais, par une addition bien simple faite au système dont nous venons de parler, une sonnerie avertit alors l'employé de la solution de continuité du circuit qui est survenue. Pour obtenir ce résultat. il suffit de faire passer le courant qui doit animer la sonnerie par les armatures des électro-aimants indicateurs et leurs butoirs d'arrêt; il arrive alors que c'est seulement dans les cas où les

armatures se trouvent repoussées simultanément comme dans la figure 51 que la sonnerie fonctionne. Ce dernier système, qui n'est qu'accessoire dans la manœuvre des disques-signaux eux-mêmes pendant le jour, devient d'une grande importance pour le signalement de l'extinction des lampes dont les disques-signaux sont pourvus pendant la nuit, car c'est par lui que le dispositif adapté à ces lampes pour réaliser cet effet, exerce son action indicatrice.

Ce dispositif consiste dans un thermomètre métallique, placé au-dessus de la flamme de la lampe, et qui se compose de deux tiges de fer carrées AB, BC, fig. 2 et 3, pl. II, réunies parallèlement ensemble par l'une de leurs extrémités B. L'une de ces tiges est formée d'une lame de laiton BD et d'une lame de fer soudées ensemble, et se termine par une lame de ressort CE placée à portée de deux pointes de vis *a*, *b*, formant interrupteur de courant. L'autre tige est traversée perpendiculairement à sa longueur par un axe I sur lequel pivote tout l'ensemble thermométrique; elle porte de plus un manchon d'ivoire G sur lequel se trouvent fixées deux plaques de cuivre *c*, *d*. mises e rapport avec deux circuits électriques, et qui correspondent aux deux vis dont nous avons déjà parlé. Enfin un électro-aimant tubulaire M est disposé de manière que son armature prolongée et coudée HKL appuie sur l'un des bras IB de la bascule formée par l'ensemble thermométrique, et puisse lui imprimer un mouvement d'oscillation dans le sens horizontal. Cet électro-aimant est en rapport avec le circuit correspondant à la vis *b* de l'interrupteur la plus rapprochée de l'axe d'oscillation du système.

Tout ce mécanisme, sauf l'extrémité libre B du thermomètre qui est placée à l'état normal au-dessus de la flamme de la lampe, est renfermée dans une boîte de fer-blanc adaptée sur le côté de la cheminée de la lanterne; il se trouve, par conséquent, garanti contre les intempéries et les acci-

dents atmosphériques. De plus, pour le mettre complétement à l'abri du défaut de soin des employés chargés du transport et du nettoyage des lanternes, deux treillages métalliques ont été placés dans la cheminée de la lanterne, au-dessus et au-dessous de la partie du thermomètre qui avance sur la flamme.

« Examinons maintenant comment cet appareil fonctionne; mais, pour qu'on puisse saisir plus facilement l'effet produit, supposons que tout le dispositif décrit précédemment soit réduit au simple thermomètre métallique composé de ses deux branches AB, CB, en face de l'une desquelles sera placée l'une des vis de l'interrupteur. A l'état normal, ces deux branches sont en adhérence complète l'une avec l'autre; mais quand la lampe est allumée, celle de ces lames qui est composée de cuivre et de fer se recourbe sous l'influence de la chaleur et de l'inégale dilatation des deux métaux; et, pour un certain degré de chaleur qui correspondra au minimum d'action calorifique produit par la lampe (c'est-à-dire quand elle éclaire le moins possible), le ressort qui la termine appuiera contre la vis de l'interrupteur précédemment désignée. Un courant électrique pourra donc être fermé, et si ce courant est le même que celui qui doit fournir les indications à la station lors de la manœuvre des disques, il pourra faire intervenir l'influence exercée par la flamme de la lanterne dans la production des signaux à la station. En effet, supposons qu'à la nuit tombante le circuit direct qui relie le conjoncteur du disque à l'appareil aux signaux soit rompu, et que l'on introduise, pour le compléter, le circuit fermé par le thermomètre, il arrivera forcément que tant que la lampe sera allumée, les indications fournies par la manœuvre du disque-signal seront les mêmes que quand le circuit était complété directement. Mais si la lampe vient à s'éteindre, le circuit complémentaire se trouvant interrompu, par suite du rapprochement des deux tiges du thermomètre, le signal de

la voie libre ou fermée disparaîtra à la station, et la sonnerie de l'appareil aux signaux entrera en mouvement. On sera donc prévenu par là de l'extinction de la lampe. Nous ferons d'ailleurs observer que l'introduction de la lanterne dans le circuit qui relie le disque-signal aux appareils de la station ne présente aucune difficulté, pas plus que la fermeture de ce circuit après qu'elle a été enlevée, car cette double fonction peut être obtenue mécaniquement par le simple accrochement ou décrochement de la lanterne.

Il nous reste à expliquer l'utilité des accessoires de l'appareil que nous avons décrit, et dont l'usage n'est pas indiqué par les fonctions que nous venons d'analyser. Ces accessoires ont été introduits pour donner plus de sensibilité et plus de régularité à la marche de l'appareil. On comprend, en effet, que si le thermomètre métallique existait seul dans les conditions que nous venons d'analyser, il arriverait que, pour une flamme ardente, la divergence des lames serait telle qu'il faudrait plusieurs minutes pour que le contact électrique cessât, et, par suite, pour qu'on fût prévenu à la station de l'extinction accidentelle de la lumière. Or, il pourrait résulter de ce fait plusieurs conséquences fâcheuses. Aussi les inventeurs ont-ils cherché à détourner cette difficulté, en faisant en sorte que le thermomètre ne pût s'échauffer que jusqu'à un certain degré très-voisin du minimum sur lequel il avait été réglé, et c'est à cet effet qu'ont été ajoutés la seconde vis *b* de l'interrupteur thermométrique et l'électro-aimant tubulaire M appelé à réagir sur le thermomètre lui-même en le faisant osciller. Supposons, en effet, que la chaleur de la lampe soit assez énergique pour continuer à écarter les lames du thermomètre, alors que la première vis *a* de l'interrupteur aura été touchée, la lame de ressort EC qui a produit ce contact va se plier et rencontrera prochainement la seconde vis *b* de l'interrupteur; un courant va donc être immédiatement transmis à travers l'électro-aimant tubulaire

M, et celui-ci, en réagissant sur le thermomètre, l'écartera de sa position première en le reportant à côté de la flamme. Se trouvant moins échauffées dans cette nouvelle position, les deux lames de ce thermomètre vont tendre à se rapprocher, le contact avec la seconde vis *b* de l'interrupteur va être supprimé, et le courant, ne circulant plus à travers l'électro-aimant tubulaire, laissera le thermomètre revenir à sa position initiale, sous l'effort d'un ressort antagoniste V. Il résulte donc de cette action que, pendant tout le temps que la flamme est ardente, le thermomètre exécute des oscillations plus ou moins promptes. Avec cette disposition de l'appareil habilement combinée par M. Hardy, constructeur, qui s'est adjoint à MM. Dufau et Allard, l'extinction de la lampe peut être signalée en douze secondes seulement, dans les conditions les plus défavorables.

Je ne décrirai pas ici avec détail l'appareil qui fournit les signaux à la station ; il se comprend aisément, et peut d'ailleurs être considérablement perfectionné, comme l'ont reconnu les inventeurs eux-mêmes; mais cette partie du système n'est que très-accessoire.

Télégraphe avertisseur de M. Walker. — Le *Cosmos* décrit de la manière suivante un nouveau système télégraphique de M. Walker qui permet non-seulement de correspondre d'une station de chemin de fer aux deux stations voisines en amont et en aval, mais encore de prévenir immédiatement deux stations consécutives d'un déraillemant ou autre accident survenu dans l'intervalle qui les sépare : « Chaque station, dit-il, est munie d'un timbre à signaux et d'une pile locale ; une des extrémités de chacune des piles est en communication avec la terre ; les piles successives communiquent entre elles par leurs extrémités libres; mais les extrémités en regard et unies sont des pôles opposés ou de noms contraires. Par là même, à l'état normal ou ordinaire, les courants des piles se neutralisent ou ne se produisent pas, et les timbres ne son-

nent pas. Mais si l'un des fils qui unissent les timbres est mis en communication avec la terre ou avec les rails, l'équilibre sera troublé, deux courants efficaces s'établiront, et les timbres des stations à droite et à gauche du point où la communication a été établie commenceront à retentir. Cette communication avec le sol peut se faire à l'une des stations aussi bien qu'au milieu de l'intervalle qui les sépare, et aussitôt les timbres des stations voisines sonnent. S'il survient un accident, le conducteur du train n'a qu'à faire communiquer le fil télégraphique avec le sol ou avec les rails pour signaler l'accident aux deux stations en avant et en arrière. Un mécanisme très-simple fixé aux poteaux de distance en distance fournit le moyen d'établir sans embarras la communication du fil avec la terre. »

Ce système, comme on le voit, est un diminutif du système de M. Breguet, que nous avons décrit page 163, 2e volume de notre *Exposé des applications de l'électricité;* il a sur lui l'avantage de ne pas exiger d'appareils portatifs ou de pile mobile; mais, en revanche, il ne peut se prêter aussi facilement à un échange de renseignements qui sont toujours nécessaires en cas d'accident.

Systèmes de freins électro-magnétiques de M. Achard. — Depuis la description que j'ai faite, dans mon *Exposé,* des freins électriques de M. Achard, bien des expériences ont été tentées par lui pour perfectionner ces sortes d'appareils, et il est arrivé à des combinaisons simples et ingénieuses qui ont fourni les meilleurs résultats.

Avec ses nouveaux freins, en effet, M. Achard peut obtenir un serrage successif qui peut être maintenu au maximum ou à un degré moindre, suivant qu'on le désire, et qui peut même cesser d'exister spontanément; le bruit qu'on reprochait à ses appareils anciens, et qui était la conséquence du mouvement de son embrayeur électrique, peut même ne plus exister du tout, comme nous allons le voir. Il serait

réellement étonnant qu'après les expériences diverses qui ont été faites, les compagnies se montrassent encore rebelles à adopter une invention aussi importante et aussi utile dans l'intérêt même de la manœuvre des convois.

Avant de décrire le dernier appareil auquel M. Achard s'est arrêté, il me semble à propos d'entrer dans quelques détails sur celui qui l'a précédé, et qui est excessivement ingénieux. Cet appareil, d'ailleurs, peut être appliqué dans d'autres circonstances que celles pour lesquelles il a été imaginé.

Nous avons décrit d'une manière sommaire, dans le premier volume de notre *Exposé,* page 315, l'embrayeur à hélice de M. Achard. C'est une espèce de vis sans fin à large filet, au-dessus de laquelle se trouve un petit chemin de fer sur lequel peut se promener un chariot, lorsqu'un taquet, commandé par l'armature d'un électro-aimant et mis en mouvement continuel de va-et-vient, se trouve maintenu élec-

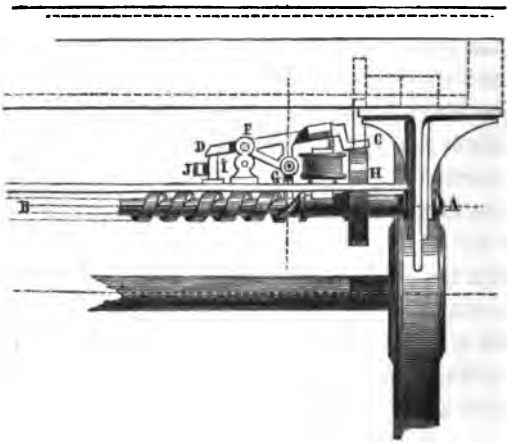


Fig. 52.

triquement au fond du filet de la vis. Ce chariot peut alors pousser un levier articulé et lui faire décrire un arc de cercle

très-allongé. C'est ce mécanisme que M. Achard a substitué dans ses freins au mécanisme oscillant que nous avons décrit page 211 de notre deuxième volume, afin d'obtenir un serrage plus direct et susceptible d'être gradué.

Nous donnons ci-contre le dessin de ce nouveau système de frein ; mais nous devons dire préalablement, pour l'intelligence de ce dessin, que la vis sans fin de l'embrayeur est mise en mouvement de rotation par un rochet sur lequel réagit l'un des essieux du wagon par l'intermédiaire d'une excentrique et d'un second embrayeur analogue à celui que nous avons décrit dans notre deuxième volume, page 211. En fermant le courant à travers cet embrayeur secondaire, on met donc en marche la vis sans fin de l'embrayeur effectif, et on l'arrête par l'interruption de ce même courant. Cette partie du mécanisme, que nous ne représentons pas, de crainte de complication, est adaptée à l'extrémité B de la vis sans fin, et se présenterait de champ si elle était figurée.

Quant à l'embrayeur effectif, il se comprend aisément. E est l'électro-aimant, CD un levier oscillant en F et portant l'armature, ainsi que le taquet d'embrayage qui se voit en G. H est une excentrique montée sur la vis AB, et qui réagit sur le levier CD par son extrémité C. I est un butoir d'arrêt pour limiter la course du levier CD et servir en même temps de poussoir ou d'embrayage au levier J qui est fort long et qu'on ne voit sur la figure que par le bout. Enfin au-dessous du système on voit l'essieu du wagon qui communique le mouvement de rotation à la vis AB, ainsi que nous l'avons dit.

A l'état normal, la vis AB ne tourne pas, mais quand on veut obtenir le serrage du frein on commence par la faire marcher en fermant le courant à travers l'embrayeur secondaire. Sous son influence, le levier CD se met à osciller, et lorsqu'on ferme ensuite le courant à travers l'électro-aimant E, le taquet G, maintenu électriquement au fond du filet de vis où il s'est trouvé porté après l'abaissement de l'excen-

trique H, suit forcément ce filet de vis et entraîne immédiatement le chariot qui porte tout le système électro-magnétique. Le levier d'embrayage, poussé par ce chariot, opère alors le serrage du frein qui peut être plus ou moins fort suivant que la course du chariot est elle-même plus ou moins grande. Or, comme il est facile de limiter à volonté la course du chariot, puisqu'il suffit pour l'arrêter d'interrompre le courant dans l'embrayeur auxiliaire, on peut, avec le système en question, obtenir tous les degrés de serrage possibles sans qu'on ait à craindre aucun desserrage, puisque d'un côté la vis AB ne peut reculer à cause de l'encliquetage du rochet qui la commande, et que de l'autre le taquet G, maintenu abaissé, ne peut s'échapper du filet de vis.

Quand on veut obtenir le desserrage, il suffit d'interrompre le courant à travers l'électro-aimant E du chariot. Alors le plan incliné du filet de vis, réagissant sur le taquet qui n'est plus maintenu par une adhérence magnétique, se soulève, et le chariot se trouve ramené spontanément à sa position initiale par le levier serré du frein lui-même.

La disposition du nouvel embrayeur de M. Achard, que nous allons maintenant décrire, est la même en principe que celle que nous venons d'étudier. Seulement, à l'embrayeur à hélice et à l'embrayeur secondaire ont été substitués, pour des motifs que nous ferons bientôt valoir, les embrayeurs à adhérence magnétique que nous avons décrits page 154, etc. Les figures 53 et 54 représentent l'élévation et le plan de ce nouvel appareil.

L'axe II, fig. 53, est un arbre horizontal, qui joue dans ce nouveau système le rôle de la vis AB dans le système précédent ; il porte, comme on le voit, l'embrayeur magnétique à mouvement circulaire composé de ses deux disques de fer doux MM, montés sur des axes creux, et de son système d'électro-aimants droits LL, disposé en regard de ces disques sur une cage circulaire de cuivre fixée sur l'arbre II.

L'embrayeur auxiliaire, destiné à réagir sur le mécanisme à roue à rochet qui doit communiquer le mouvement à l'arbre II, sous l'influence de l'essieu du wagon, est adapté en EF. Il se compose essentiellement d'un système électro-

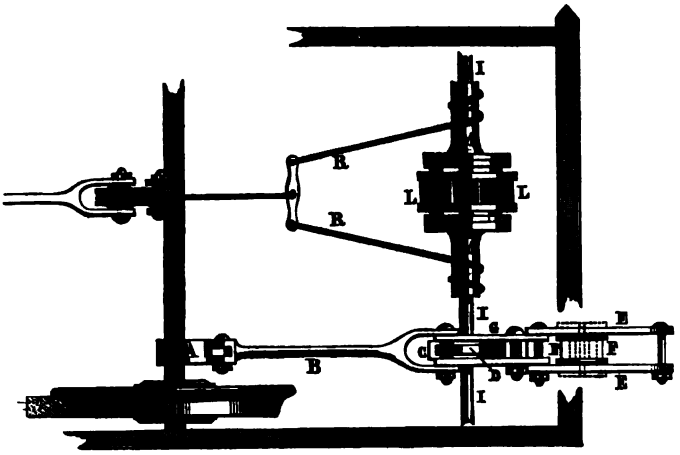


Fig. 53.

magnétique composé de deux ou quatre électro-aimants droits dont les pôles peuvent glisser entre deux tringles de fer doux EE. Ces tringles sont reliées à la bielle B sur laquelle réagit l'excentrique de l'essieu du wagon[1] par deux barres de cuivre GG qui portent le cliquet d'impulsion D destiné à réagir sur le rochet moteur C, et tout ce système fonctionne en dehors de l'action de l'excentrique sous l'influence d'un fort ressort de rappel relié à la bielle B.

Le jeu de cet appareil est facile à comprendre : à l'état normal, le courant circule dans les électro-aimants FF et maintiennent les tringles EE au point extrême de leur course,

1. Dans la figure, la pièce sur laquelle réagit cette excentrique ne se voit que par le bout, car elle est verticale et articulée à la bielle B.

alors qu'elles ne sont plus sollicitées au mouvement que par le ressort de rappel. Dès lors l'arbre II ne bouge pas; mais aussitôt qu'on interrompt le courant dans l'embrayeur, ce ressort de rappel repousse le système oscillant, et quand l'excentrique se présente il provoque l'action du cliquet D, qui met en mouvement le rochet C, et par suite l'arbre II. Toutefois, aucune action n'est encore produite sur le serre-frein, car les disques de fer doux MM, sur l'axe desquels sont enroulées les cordes ou les chaînes agissant sur ce serre-frein, ne sont pas encore mis en mouvement, et ce n'est que quand le courant circule dans les électro-aimants LL que ces disques se trouvent pour ainsi dire engrenés et partagent le mouvement de l'arbre II. Alors les chaînes ou les cordes RR réagissent par l'intermédiaire des poulies C, B, fig. 54, sur le levier du

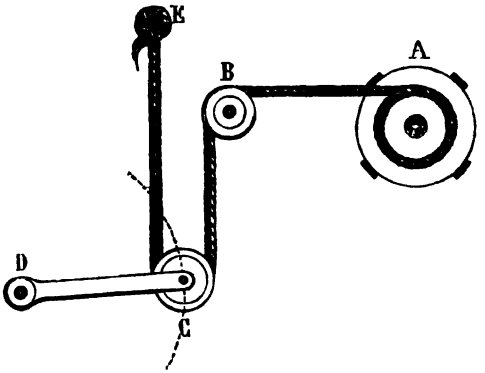


Fig. 54.

serre-frein CD, et produisent un serrage qui peut être gradué, maintenu ou supprimé spontanément comme précédemment, et de plus un desserrage gradué; car, en rétablissant le courant à travers l'embrayeur auxiliaire, on peut suspendre à volonté le mouvement de l'arbre II, fig. 53, et en l'inter-

rompant à travers l'embrayeur effectif, on met les disques MM à l'état de poulies folles sur l'arbre II.

Nous ferons toutefois observer que l'action de l'embrayeur auxiliaire ne pouvant être complète qu'autant que les tringles EE sont arrivées à la limite extrême de leur course, il est important que l'action électrique ne surprenne pas celles-ci dans une position autre que cette position extrême. Pour obtenir ce résultat, il suffit d'un rhéotome adapté à l'axe II, et ce rhéotome peut consister dans un manchon de matière isolante, ne présentant de parties conductrices devant un frotteur placé *ad hoc,* que quand les tringles EE se trouvent dans la position voulue.

Ce système, outre qu'il évite le bruit produit par les autres embrayeurs, présente encore l'avantage d'être utilisé pour le serrage à la main, en embrayant la force développée par la rotation des roues. Il suffit pour cela d'un levier à main qui réagisse sur la bielle B, fig. 53, au lieu et place de l'excentrique, et de substituer à l'action de l'embrayeur celle d'une boîte d'engrenage placée sur l'axe II et s'emboîtant à volonté avec les manchons MM.

Pour éviter la rupture des chaînes, qui pourrait avoir lieu si, par l'usure trop grande des sabots des freins, ces chaînes se trouvaient tout à fait enroulées sans que ces sabots aient rencontré les roues, M. Achard adapte au système un levier à main disposé de manière à maintenir la bielle B écartée de l'excentrique; de cette manière le jeu de l'embrayeur se trouve tout à fait suspendu.

En outre des systèmes que nous venons de passer en revue, nous aurions à citer plusieurs autres imaginés par MM. Scias, Grassin, Balledans, Baggs, Price, mais comme ils ne sont que des complications sans importance de ceux de MM. de Castro et Tyer, nous n'en parlerons pas davantage.

V

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.

L'élan que l'exposition universelle avait donné à l'horlogerie électrique ne s'est pas soutenu en 1857 et 1858. Il est vrai que quelques essais malheureux ont refroidi un peu le premier enthousiasme, et, au lieu d'attribuer la mauvaise marche des appareils à leur véritable cause, c'est-à-dire au mauvais entretien de la pile, aux communications électriques mal établies, on a trouvé plus simple de s'en prendre au système lui-même, et on s'est écrié : « L'horlogerie électrique n'est que du *charlatanisme !* » Mais quand donc le bon sens public sera-t-il assez fort pour se prémunir contre ces premiers mouvements de l'esprit, et pour voir la question là où elle est !... L'horlogerie électrique, qu'on le comprenne bien une fois pour toutes, n'est pas établie pour faire concurrence à l'horlogerie ordinaire ; mais elle peut fournir des résultats que celle-ci ne peut rationnellement pas produire, par exemple, la répartition exacte de l'heure sur divers points; la régularisation de l'heure fournie par des horloges ordinaires, etc., etc. Sans doute, par extension, on a voulu faire de véritables horloges électriques pour obtenir, à meilleur marché que les chronomètres, des appareils marchant avec des échappements libres, et auxquels on pût appliquer des mécanismes régulateurs propres à leur donner une grande précision ; sans doute on a cherché à obtenir par les moyens électriques des horloges pouvant fonctionner pendant un temps très-long sans qu'on s'en occupe : mais là n'est pas le but réel de l'horlogerie électrique, et, d'ailleurs, si on nous oppose plusieurs exemples d'horloges électriques qui se sont

arrêtées ou qui n'ont pas fourni régulièrement l'heure, nous pourrions citer beaucoup d'autres exemples qui prouveraient que toutes les fois que la pile et les communications électriques sont maintenues dans un état convenable, les appareils fonctionnent parfaitement bien. Toute la question de réussite, dans ce genre d'application comme dans toutes les applications électriques en général, n'est, en effet, qu'une question de soin.

Bien que le zèle ait été, comme nous l'avons dit, un peu abattu depuis deux ans, nous aurons néanmoins à enregistrer plusieurs perfectionnements et plusieurs inventions qui ne laissent pas que d'avoir de l'importance, comme on pourra en juger.

Pendule électro-magnétique de M. Garnier fils. — M. E. Garnier, fils de M. Paul Garnier, dont nous avons parlé si souvent, a recherché les moyens de soustraire les horloges électriques à une réaction qui, bien que minime en apparence, a pourtant des conséquences plus fâcheuses qu'on ne le pense généralement, et auxquelles il faut peut-être attribuer les irrégularités de marche qu'on a signalées dans certaines horloges. Cette réaction contraire est l'oxydation fournie par l'étincelle à l'interrupteur, laquelle oxydation exerce ses effets les plus préjudiciables quand l'interruption du courant est faite entre le balancier et le ressort moteur destiné à entretenir son mouvement. Il arrive, en effet, qu'il se produit dans ce cas un collage irrégulier entre ces deux organes, qui peut troubler considérablement l'isochronisme des oscillations du pendule. Ne pouvant détruire complétement cette oxydation, M. Garnier fils a voulu en faire disparaître les inconvénients les plus fâcheux en isolant l'interrupteur du balancier, et pour cela il a employé le dispositif que nous avons représenté fig. 6 et 7, pl. II.

Dans la fig. 6, le ressort moteur se voit en R; il porte un petit appendice de platine A et une semelle B sur laquelle

réagit le bras du pendule P. Au-dessous de l'appendice de platine A se trouve une pièce C munie d'une vis de platine qui est soutenue par un levier adapté à l'axe sur lequel pivote l'armature de l'électro-aimant E. Ce levier se voit plus distinctement en C, fig. 7. Il accompagne le levier GH qui porte le cliquet d'impulsion et le bras I sur lequel réagit le ressort antagoniste. Les butoirs d'arrêt de ces leviers sont en K et L. Voici maintenant comment cet appareil fonctionne :

En temps ordinaire, c'est-à-dire quand le balancier ne touche pas le ressort moteur, la pièce C (fig. 6) est en contact avec l'appendice A; le courant se trouve fermé à travers l'électro-aimant E; par conséquent, le levier C (fig. 7) se trouve soulevé. Mais au moment où le bras du balancier vient rencontrer le ressort R, le courant se trouve rompu, l'armature se détache de l'électro-aimant, et le levier C s'abaisse; alors le ressort R appuie sur le bras du balancier et lui restitue la quantité de mouvement en rapport avec l'écartement existant entre les pièces A et C (fig. 6). Après cette impulsion, le pendule abandonnant le ressort R qui se trouve soutenu par C, le courant est rétabli dans l'électro-aimant E, et le levier C (fig. 7) est relevé avec le ressort R qui se trouve dès lors tendu et prêt à fournir une nouvelle impulsion au moment de la rupture prochaine du courant.

En même temps que le levier C tend le ressort moteur de l'horloge, le levier GH réagit sur la roue à rochet et la fait avancer d'une dent pour chaque oscillation complète du balancier, c'est-à-dire toutes les secondes. Cette roue, munie de 60 dents, fait donc un tour sur elle-même en une minute, et, en réagissant sur la minuterie, donne l'heure sur le cadran.

La minuterie adoptée par M. Garnier est tout à fait particulière et permet, au moyen d'une simple roue intermédiaire entre elle et le rochet, de traduire l'heure sans l'em-

ploi d'une vis sans fin, système qu'on condamne dans l'horlogerie de précision. Cette minuterie, que nous représentons fig. 8, pl. II, se compose de trois roues A, B, C, dont l'une B peut tourner librement sur l'axe creux de la roue A qui représente la roue des minutes des minuteries ordinaires. La roue C qui représente la roue des heures est à rochet, et montée sur un canon adapté à frottement libre sur le canon de la roue A. Le mouvement est communiqué à la minuterie par la roue B et par l'intermédiaire de deux ressorts frotteurs r, r' qui l'appuient contre l'assiette de la roue A; cette disposition permet, comme on le devine aisément, de remettre facilement les aiguilles à l'heure sans réagir sur le mécanisme commandé par la roue à rochet. Ce mécanisme se compose uniquement d'une roue D engrenant avec un pignon G et portant sur son axe un autre pignon H qui engrène avec la roue B. Le rapport de cette roue D avec le pignon G est de 1 à 7 $\frac{1}{2}$, et celui du pignon H avec la roue B est de 1 à 8. Enfin la roue A engrène avec une autre petite roue I dont l'axe porte un doigt K destiné à réagir sur la roue à rochet C; le rapport de cette roue avec la roue A est de 1 à 4. Voici maintenant le jeu de ces divers organes :

Quand la roue à rochet S a fait un tour, le pignon H n'en a fait que $\frac{1}{7\frac{1}{2}}$, et, par suite, la roue B n'en fait que $\frac{1}{60}$. Un tour de cette dernière correspondra donc à 60 tours de S, par conséquent à une heure de durée. La roue I fera un tour tous les quarts d'heure, et, par suite, le doigt K fera sauter quatre dents de la roue C en une heure. Si cette roue a 48 dents, elle accomplira son tour en douze heures, et représentera par conséquent la roue des heures.

Horloges électriques de M. Lasseau. — M. Lasseau, un de nos plus fervents amateurs des applications électriques, vient d'installer lui-même, dans les villes de Montbéliard (Doubs) et de Billon (Puy-de-Dôme), un système complet d'horloges électriques qui, de l'aveu de la Société d'Émulation de Mont-

béliard, fonctionne depuis plus d'une année de la manière la plus satisfaisante. Nous sommes réellement heureux d'avoir à annoncer ce progrès qui montre, une fois de plus, que le zèle éclairé d'un seul homme peut faire davantage à lui seul, pour une ville, que toutes les commissions municipales nommées *ad hoc* et dont les décisions sont presque toujours des fins de non-recevoir. En horlogerie électrique comme du reste en beaucoup d'autres choses, on ne pourra plus dire que *c'est de Paris que nous vient la lumière.*

Le système de M. Lasseau est une combinaison très-habilement faite des systèmes de MM. Liais et Breguet, dans le but de transmettre l'heure aux horloges principales d'une ville sans changer le mécanisme de ces horloges, et avec la facilité de pouvoir les remettre à l'heure, du point central où se trouve établi le régulateur. En conséquence, il comporte quatre genres d'appareils distincts :

1° Un régulateur électrique avec compteur (il est installé à Monbéliard, à l'hôtel de ville) ;

2° Des horloges à compteur électro-chronométrique (ce sont : à Montbéliard, les horloges de Saint-Martin, de Saint-Georges et de la place d'armes) ;

3° Des compteurs répétiteurs avec accélérateurs et retardateurs (adaptés au régulateur).

Le régulateur électrique que nous avons représenté, fig. 12, pl. II, se compose d'un simple système à contre-poids et à pendule (analogue à celui de M. Froment), qui a pour effet d'entretenir la marche du pendule P, par la chute d'une lame H sur un bras R, laquelle chute a lieu toutes les fois que ce bras R rencontre cette lame, au moment où le pendule atteint la limite extrême de sa course. De cette rencontre, en effet, résulte un courant qui, en circulant dans l'électro-aimant E, provoque l'attraction de l'armature N, et par conséquent l'abaissement de la tige L qui supporte la lame H.

Le compteur de ce régulateur, au lieu d'être mis en fonction par l'électro-aimant E lui-même, comme dans la plupart des régulateurs que nous avons décrits, marche sous l'influence de deux électro-aimants E′ E″, entre lesquels oscille l'armature V qui leur est commune. Or, cette armature, terminée par un levier, réagit à son tour sur une fourchette X, oscillant en K, qui porte un double système de cliquets d'impulsion. Ces cliquets réagissent sur deux roues à rochet Y Y′; et pour chaque oscillation de l'armature V, soit à gauche, soit à droite, l'une ou l'autre de ces roues échappe d'une dent. Ce mouvement oscillatoire de l'armature V est d'ailleurs obtenu au moyen d'un interrupteur R sur lequel réagit l'armature N de l'électro-aimant E et qui renvoie alternativement un courant à travers les électro-aimants E′, E″ suivant que N est attirée ou repoussée. C'est, comme on le voit, le système de compteur de M. Breguet que nous avons décrit (page 242, tome II, de notre *Exposé*). Aussi renvoyons-nous à cette description pour que l'on puisse comprendre comment les deux roues Y et Y′ peuvent, au moyen de deux autres roues de mêmes diamètres montées sur les mêmes axes et engrenant ensemble, réagir sur la minuterie dont l'axe se voit en S.

M. Lasseau a utilisé l'une de ces roues Y au renvoi de l'heure dans les compteurs électro-chronométriques placés en ville. A cet effet, il a adapté sur l'une des faces de cette roue une cheville, et a disposé autour d'elle trois ressorts W, W′, W″, de manière que ceux-ci pussent être successivement rencontrés par cette cheville, toutes les minutes. De cette manière, il est vrai, l'heure n'est pas transmise simultanément aux trois compteurs; mais comme l'ordre de succession des contacts est toujours le même, les horloges qui sont en retard d'une demi-minute ou d'un quart de minute peuvent être avancées préalablement de ces quantités, et dès lors les heures indiquées sont exactement les mêmes par-

tout[1]. Nous représentons ci-dessous le mécanisme que M. Lasseau a ajouté aux horloges déjà existantes (et ces horloges étaient des horloges de clocher) pour les faire servir de compteurs électro-chronométriques.

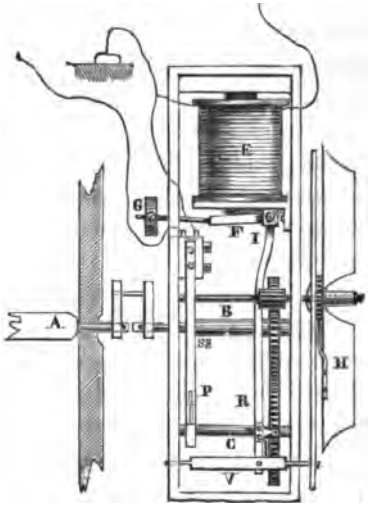


Fig. 55.

A représente l'axe de la roue d'échappement de l'horloge dont l'ancre et le balancier sont enlevés. Cet axe se prolonge et se termine par une roue munie de cinquante dents qui engrène d'une part avec un pignon qui fait tourner un volant à ailettes H, et de l'autre avec une seconde roue servant, jusqu'à un certain point, de chaperon. L'axe de cette dernière roue porte une excentrique qui réagit sur deux lames de ressort P placées parallèlement l'une à côté de l'autre et constituant un interrupteur. Enfin, un électro-aimant E, par l'intermédiaire de son armature F, réagit sur un long levier IR qui sert de détente soit directement au moyen d'une dent

1. Un système analogue avait été déjà employé par M. Bain.

qui s'enfonce entre deux dents de la roue servant de chaperon, soit indirectement au moyen de la tige V qu'il pousse ou recule vers une tige qui accompagne le volant à ailettes. On comprend facilement, d'après cette disposition, que pour chaque fermeture de courant opérée au régulateur, la détente se trouve soulevée, le rouage défile et l'aiguille des minutes avance sur le cadran; mais comme le mouvement pourrait ne pas être parfaitement régulier, un rhéotome placé sur l'un des mobiles de l'horloge coupe le courant en temps opportun pour arrêter le volant H au moment où l'aiguille est arrivée sur la minute qu'elle doit désigner.

L'interrupteur P a pour fonction de fermer un courant à travers le compteur-répétiteur qui correspond à l'horloge, toutes les minutes, c'est-à-dire pour chaque tour de la roue servant de chaperon.

Ce compteur-répétiteur, destiné à indiquer au poste central l'heure fournie par l'horloge avec laquelle il est lié, est un compteur ordinaire que nous avons représenté fig. 13, pl. II. A côté de lui se trouvent un conjoncteur et un disjoncteur de courant qui permettent, l'un S de fournir à la main plusieurs fermetures précipitées afin d'avancer l'horloge quand le répétiteur indique qu'elle est en arrière, l'autre d'interrompre le courant de manière à empêcher l'horloge de fonctionner quand, au contraire, le répétiteur indique de l'avance. Dans les appareils de M. Lasseau, ces répétiteurs, au nombre de trois, sont adaptés à la partie inférieure du régulateur. On sait que l'idée de ces appareils accessoires appartient à M. Liais, qui les a établis à l'Observatoire de Paris, ainsi que nous l'avons vu page 324 de notre deuxième volume.

Nous allons laisser maintenant parler le journal *le Doubs,* pour montrer l'importance que peut avoir l'horlogerie électrique, même au point de vue économique, dans les villes de province :

« Nous enregistrons aujourd'hui, avec fierté, l'introduction dans notre ville d'une des plus récentes et des plus brillantes conquêtes de la science moderne : l'application de l'électricité à la régularisation de nos horloges publiques. Chacun sait que, depuis longtemps, nos trois horloges, obéissant chacune à sa fantaisie, avaient trouvé le moyen de n'être jamais d'accord et de dispenser l'heure aux habitants de notre ville de la manière la plus capricieusement fantasque ; cette irrégularité produisait parfois de telles perturbations dans les relations sociales que, malgré nombre d'autres besoins, malgré la pénurie des ressources dont il peut disposer, le conseil municipal voyait approcher le moment où il ne pourrait plus retarder davantage une dépense sérieuse pour cet objet. Grâce à la science, cet état de choses est changé; nos capricieuses sont soumises et, depuis près d'un mois, chacun peut s'assurer de l'accord invariable qui règne entre elles. . . . . .

« Maintenant, comment notre ville est-elle arrivée l'une des premières de France à réaliser sitôt ce progrès que les plus grandes cités, que Londres et Paris même attendent encore ? C'est que nous avons eu le rare bonheur de trouver parmi nous un homme profondément versé dans l'étude des sciences physiques, passionnément épris de leurs brillantes et utiles applications, et chez qui le dévouement au progrès égale le savoir; au premier désir qui lui en a été exprimé, il a généreusement donné à notre ville son temps, sa science, son travail; il a fait du progrès à réaliser son œuvre d'affection et, en peu de temps, il l'a glorieusement menée à bien. La modestie de M. Lasseau nous pardonnera de publier ici le témoignage unanime de reconnaissance de notre ville. »

Nouvelle pendule électrique à sonnerie de M. Robert Houdin. — M. Robert Houdin a cherché à simplifier encore la charmante pendule que nous avons décrite dans notre deuxième volume, et il est arrivé à la réduire à sa plus simple expres-

sion sans lui rien ôter de la sûreté de sa marche et de sa précision. Cette nouvelle disposition a l'avantage de pouvoir s'adapter à toute minuterie de cadrans grands ou petits, et c'est grâce à elle qu'un cadran d'un mètre de diamètre, placé sur le fronton de l'hôtel de ville de Blois, marche depuis deux ans avec la plus grande régularité. Comme complément, M. Robert Houdin a ajouté à cette nouvelle pendule une sonnerie électro-magnétique qui peut être complétement indépendante et être placée à telle distance que l'on veut de la pendule elle-même, sans nécessiter une pile particulière. Bien plus même, deux ou plusieurs sonneries peuvent être disposées en plusieurs endroits différents et fonctionner sous la même influence.

Les fig. 9 et 10, pl. II, représentent l'appareil chronométrique et la sonnerie de cette nouvelle pendule. On peut remarquer que toutes les tiges intermédiaires destinées, dans la première disposition de cet appareil, au relèvement du ressort moteur, n'existent plus ; l'électro-aimant agit directement, et constitue même un rhéotome destiné à faire fonctionner la sonnerie. Du reste, le mécanisme qui relie le rochet à secondes (sur lequel réagit l'électro-aimant) avec la minuterie, est exactement le même que celui de la première pendule, et il n'y a d'ajouté à ce mécanisme que le levier-bascule Bc, fig. 10, et le doigt D dont l'intervention est nécessaire pour le jeu de la sonnerie. Pour qu'on puisse suivre la marche de l'appareil, nous rappellerons que, dans le support de la suspension S, fig. 10, sont adaptées deux lames isolées, dont l'une soutient le balancier et l'autre le levier d'impulsion L. Cette dernière communique directement au pôle positif de la pile P, et la première est mise en rapport avec le pôle négatif de cette même pile par l'intermédiaire de l'électro-aimant E. Si l'on pousse une première fois le balancier vers la droite, le circuit se trouve fermé à travers l'électro-aimant E par l'arc de cercle C et le levier L, et dès lors celui-ci, de-

venant actif, provoque l'abaissement de l'armature A qui fait sauter une dent du rochet *r*, fig. 10 *bis*. En même temps le support *s* se trouve abaissé, ce qui permet au levier L, qui n'est plus soutenu, d'appuyer sur l'arc de cercle C et de lui communiquer une impulsion. C'est ainsi que la marche du balancier se trouve entretenue et que la minuterie se trouve mise en mouvement, car la roue à rochet *r* des secondes porte sur son axe une vis sans fin qui engrène avec la roue des minutes M.

Lorsque le balancier de la pendule retourne vers la gauche, l'armature A, en s'éloignant, soulève le levier L par l'intermédiaire du support *s*. Alors le courant, au lieu de passer par l'arc de cercle C, passe par le support *s*, gagne le fil F qui se trouve en contact avec lui par l'intermédiaire du pont qui le supporte, et peut réagir sur la sonnerie, comme nous allons le voir.

Le circuit auquel appartient le fil F se bifurque de manière à former deux circuits dérivés, complétés par des interrupteurs. L'un de ces interrupteurs est constitué par la bascule B et le doigt D; l'autre par le ressort C (fig. 9) et le butoir F relié à la bascule B. Le premier est mis en jeu par deux goupilles *x*, *x'* fixées sur la roue des minutes et qui, toutes les demi-heures, approchent l'extrémité *e* du doigt D. Celui-ci, en rencontrant cette extrémité, ferme le circuit; mais cette fermeture ne dure qu'une seconde, car le doigt D, étant fixé sur l'axe de la roue des secondes, fait son tour entier en une minute.

Le second interrupteur fonctionne sous l'influence d'une roue de compte *r''*, qui elle-même dépend du jeu de la sonnerie. Toutes les fois que cette roue de compte présente devant une dent *d*, dont est muni le ressort C, un cran saillant, le circuit se trouve rompu par l'éloignement du ressort C du butoir F. Mais toutes les fois, au contraire, qu'une partie creuse de la roue de compte se présente de-

vant *d*, le circuit se trouve fermé, et la longueur de ces ouvertures et fermetures du circuit dépend de la longueur des intervalles qui séparent les crans de la roue de compte.

Sur le même axe que la roue *r''* (fig. 9) se trouve fixée une roue à rochet de 90 dents *r'*, sur laquelle réagit l'armature d'un électro-aimant E' interposé dans un troisième circuit dérivé aboutissant à la pile P. Mais, pour que ce circuit puisse être complété, il faut ou que l'un ou l'autre des deux interrupteurs précédents ait fermé préalablement le circuit qui lui correspond. Alors, pour chaque fermeture du courant opérée par le contact du levier L (fig. 10) avec le butoir *s*, l'électro-aimant E' fait avancer le rochet *r'* d'une dent, tout en frappant un coup sur le timbre T.

Si l'on examine la manière dont sont combinées les dérivations du courant dans les liaisons électriques établies entre la pendule et la sonnerie, on comprendra facilement que le jeu de celle-ci ne peut avoir lieu que sous l'influence de la minuterie de la pendule, c'est-à-dire sous l'influence de l'interrupteur constitué par la bascule B et le doigt D. En effet, en temps de repos, le ressort C (fig. 9) a forcément la position que nous avons indiquée sur la figure, ainsi que nous l'expliquerons tout à l'heure. Or, si le contact de *e* avec D n'a pas lieu, les fermetures de courant opérées en *s* par les oscillations rétrogrades du balancier demeureront sans effet sur l'électro-aimant E', puisque le courant ne pourra sortir du fil F et sera arrêté en C. Il n'en sera plus de même quand *e* aura touché D, car le courant suivra le chemin suivant FD*e*, BF'E'P; la roue *r'* avancera donc d'une dent chaque seconde, et la dent *d* du ressort C tombant dans une coche de la roue de compte, le contact de C et de F' aura lieu; il est vrai qu'au même instant celui de D avec *e* cessera; mais le circuit pourra rester fermé à travers l'électro-aimant E' par la voie FCF'E'P jusqu'à ce que le rochet *r'*, à la suite d'une

dernière impulsion de cet électro-aimant, ait soulevé la dent *d* sur un nouveau cran de la roue de compte. Or, tout le temps que cette dent *d* sera restée dans une coche de cette roue de compte, les fermetures de courant produites en *s* (fig. 10) seront traduites sur la sonnerie par des coups frappés sur le timbre, et le nombre de ces coups sera le même que celui des dents du rochet comprises entre les deux crans de la roue de compte dans l'intervalle desquels est tombée la dent *d*. Si donc la roue de compte est divisée en coches de longueur convenable pour correspondre aux heures et aux demi-heures, on obtiendra de cette manière une sonnerie à distance qui jouera exactement le rôle d'une sonnerie d'horloge ordinaire.

Pendule électrique servant de contrôleur et de distributeur de courants de M. Robert Houdin. — M. Robert Houdin a utilisé la pendule que nous venons de décrire comme moyen de contrôler la marche des compteurs avec lesquels elle est reliée, et en même temps comme moyen de renforcer automatiquement la force du courant dans le cas où ces compteurs ne pourraient plus fonctionner régulièrement faute de force. Pour obtenir ces différents résultats, M. Robert Houdin ajoute à la pendule précédente un second électro-aimant à compteur E'E' exactement semblable à E, mais ayant une hélice plus résistante et un système de rhéotome figuré en *r*T, qui se trouve relié à un avertisseur électrique Z.

La pile P_2 est la pile destinée à la marche des compteurs 1, 2, 3, 4. P est la pile qui fait fonctionner la pendule ; P_4, celle qui réagit sur l'avertisseur. Enfin P_3 est la pile d'attente destinée à renforcer le courant en cas de besoin.

Le rhéotome se compose essentiellement d'un disque métallique *z* fixé à l'extrémité de l'axe V, et sur lequel sont incrustées deux petites lames d'ivoire qui ne se trouvent pas exactement dans le prolongement d'un même diamètre du disque, mais qui sont disposées de manière que ce diamètre

les rencontre l'une à droite, l'autre à gauche. Sur ce disque appuient deux lames de ressort *t*, *t'*, isolées l'une de l'autre et fixées sur un axe T qui tourne sous l'influence du rochet de l'électro-aimant contrôleur E' (ce rochet est caché sur la figure comme celui de l'électro-aimant F par le levier qui porte le cliquet). A l'état normal, le ressort *t'* appuie sur la partie métallique du disque *z*, et le ressort *t* sur une partie d'ivoire. Ce dernier ressort est relié à la pile d'attente, tandis que *t'* dépend de l'axe T.

Ainsi que dans la pendule précédente, le balancier, après avoir fourni le circuit qui doit entretenir ses oscillations, laisse, en s'éloignant, appuyer le levier L sur le petit support *s*, et ferme ainsi un courant dérivé qui passe par le pont *p*, la vis sans fin V, le disque *z*, le ressort *t'*, la tige T, puis, se joignant à la pile P_2, anime les cadrans 1, 2, 3, 4, ainsi que l'électro-aimant contrôleur E'. Il résulte de cette disposition que, tant que les appareils fonctionnent, ils marchent synchroniquement les uns avec les autres, et les ressorts *t*, *t'* conservent sur le disque *z*, tout en tournant, la même position à l'égard des parties isolantes. Mais sitôt que le courant de la pile P_2 est assez affaibli pour que le jeu du contrôleur soit incertain, le disque *z*, marchant seul, glisse sous les ressorts *t*, *t'*, alors arrêtés, et bientôt le ressort *t* se trouve sur le métal du disque, et *t'* sur l'ivoire. Alors l'axe T se trouve isolé du circuit de l'interrupteur *s*, et ce circuit est complété par la pile d'attente P_3, qui dès lors se trouve adjointe à la pile P_2 pour faire fonctionner les appareils 1, 2, 3, 4, et le contrôleur E', dont la marche sera maintenant assurée. En même temps un second courant dérivé s'établit de *f* en *p* et fait fonctionner l'avertisseur tant que les contacts ne sont pas remis dans leur état normal. Cet avertisseur sonne également dans le cas où le fil du circuit serait coupé, car, l'électro-aimant contrôleur E' ne fonctionnant plus, les contacts des ressorts *t*, *t'* changeraient, ainsi que nous l'avons

vu, et viendraient établir un circuit indépendant des autres piles.

Horloge de M. Callaud. — M. Callaud, auteur de la pile que nous avons décrite page 12, a construit aussi une pendule électro-magnétique qui n'est que la reproduction un peu changée, quant à la disposition des pièces, des pendules de MM. Le Roy de Reims, Breguet et Mouilleron, que nous avons décrites pages 309, 311 du deuxième volume de notre *Exposé*. Nous sommes seulement étonnés que les *Annales télégraphiques*, en décrivant ce système, aient jugé à propos d'omettre les noms des véritables inventeurs de ce système d'horlogerie, et cela nous paraît d'autant plus regrettable que la plupart des inventions de cette sorte n'étant pas une source de profits pour leurs auteurs, il est bien juste au moins que ceux-ci ne soient pas privés du peu d'avantages qui leur reviennent, c'est-à-dire de la *gloire* de leur invention.

Dans l'appareil de M. Callaud, comme dans ceux de MM. Le Roy, Breguet et Mouilleron, le mouvement du balancier est entretenu par un ressort-spirale sans cesse remonté par une réaction électro-magnétique, et le mécanisme de la pendule elle-même est commandé, comme dans les pendules ordinaires, par une ancre d'échappement. La seule particularité que nous aurons à signaler, c'est que le remontage du ressort, se faisant toutes les minutes seulement au lieu de toutes les secondes, a exigé un commutateur particulier qui a été assez ingénieusement combiné, et que nous représentons fig. 56 ci-contre.

Ce commutateur placé sur l'axe du deuxième mobile se compose, comme on le voit, de deux rochets placés parallèlement l'un à côté de l'autre, mais disposés de manière que les dents de l'un soient en avance sur les dents de l'autre d'un intervalle correspondant à deux secondes; deux frotteurs A, B, appuient sur ces dents; mais l'un d'eux B, plus élevé que l'autre, porte une pièce métallique dans laquelle

se trouve vissée, précisément au-dessus de l'autre frotteur, une vis de platine K. Cette vis est réglée de telle manière que,

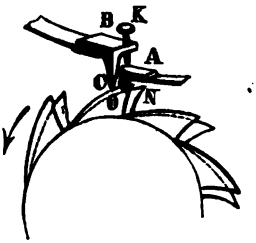


Fig. 56.

tant que le frotteur B se trouve supporté par une dent O, aucun contact ne s'effectue entre la vis K et le frotteur A; mais aussitôt que ce frotteur B a dépassé la dent O il retombe sur le frotteur A, et se trouve maintenu en contact avec lui jusqu'à ce que A soit tombé à son tour, c'est-à-dire pendant l'espace de deux secondes. Les ressorts A et B étant en communication avec la pile, il résulte de ce contact une fermeture de courant qui, en réagissant sur l'électro-aimant du remontoir, provoque une tension du ressort moteur. Ajoutons que cette tension est produite, pour une raison que nous expliquerons bientôt, sous l'influence de la force antagoniste.

Les raisons qui ont engagé M. Callaud à faire un commutateur en apparence assez compliqué sont faciles à saisir. Ne remontant, en effet, le ressort moteur que toutes les minutes, il a fallu que ce ressort moteur fût plus fort que celui employé par MM. Breguet et Mouilleron et qu'il atteigne même la force d'un ressort de montre; or, pour tendre un pareil ressort avec une faible pile, il fallait à l'interrupteur non-seulement un contact un peu dur, mais encore de longue durée, afin que l'électro-aimant pût atteindre son maximum de force; or, cette double condition ne pouvait être obtenue qu'en

plaçant l'interrupteur sur un mobile doué d'une certaine force et tournant lentement, et en disposant les frotteurs de manière que leur tension, à leur point de contact, pût s'accroître au lieu de diminuer, ce qui a été réalisé dans l'interrupteur que nous venons de décrire.

Quant aux détails d'exécution de son horloge, M. Callaud a suivi les indications fort justes de M. Liais. Ainsi, au lieu d'articuler le levier de son armature, il l'a suspendu à deux lames de ressort flexibles, et il a pris une lame de ressort pour force antagoniste. Pour éviter les irrégularités qui pourraient résulter des manques de contact, et par suite des défauts de remontage, il a, comme M. Mouilleron, muni la roue du remontoir d'un nombre de dents moins considérable que celui nécessaire pour restituer au ressort moteur (dans un temps donné) la tension qu'il avait perdue. Il en résulte que si des manques d'attraction surviennent dans le cours du remontage, elles se trouvent compensées à chaque tour de la roue du remontoir, et ce système de compensation ne peut altérer la marche de la pendule; car si ces manques d'attraction n'existent pas, le ressort moteur acquiert une tension supérieure à celle du ressort antagoniste qui produit le remontage, et dès lors l'action électro-magnétique s'arrête forcément jusqu'à ce que l'excès de tension du ressort moteur ait cessé d'exister. On voit, d'après cela, pourquoi M. Callaud a employé à la marche du remontoir la force antagoniste au lieu de la force magnétique. Sous ce rapport, l'appareil de M. Callaud est plus simple que celui de M. Mouilleron.

Nouveau compteur de M. Breguet. — Ayant eu à établir à Lyon une vingtaine de cadrans-compteurs pour le service de la ville, M. Breguet s'est trouvé conduit par l'expérience et par motif d'économie à modifier les compteurs à double rochet qu'il avait d'abord adoptés, et que nous avons décrits page 242 de notre tome II. Cette fois, l'appareil est réduit à

deux cliquets à double impulsion A et B, fig. 4, pl. II, agissant sur le même rochet et articulés sur deux lames croisées qui se trouvent reliées ensemble, à leur point de croisement, par une cheville mobile dans une coulisse. Une tige CD, portant l'armature de l'électro-aimant, communique son mouvement oscillatoire à ces deux lames qui font réagir les deux cliquets, l'un par impulsion, l'autre par traction, de telle sorte que, pour chaque mouvement de gauche à droite ou de droite à gauche, une dent du rochet échappe, et cet échappement est assuré au moyen de deux butoirs d'arrêt F et G, adaptés aux lames mobiles.

Le mouvement communiqué à la tige CD est produit par un système électro-magnétique fonctionnant sous l'influence d'un courant alternativement renversé, et dont la disposition est celle adoptée par le Père Cecchi. Cette disposition, que nous avons déjà décrite, permet, comme on le sait, la suppression des ressorts antagonistes, et paralyse les effets des courants accidentels atmosphériques, qui sont si à craindre pour les horloges électriques fonctionnant à grande distance du régulateur; elle est d'ailleurs très-commode en ce qu'elle exige peu de place pour l'établissement des différents organes qui la constituent; et elle est en même temps très-économique. (Voir la description de ce système, premier volume de l'*Exposé*, page 468, et l'*Étude du magnétisme*, page 217.)

La transmission de l'heure se fait d'ailleurs, comme dans le système de MM. Nollet, Detouche, etc., toutes les minutes seulement; mais comme pour chaque fermeture de courant un double échappement se trouve produit, le rochet avance de deux dents par minute, ce qui rend le mouvement des aiguilles moins saccadé et plus doux. Il paraît que ces compteurs ont très-bien réussi à Lyon.

Transmission de l'heure dans les ports. — Système de M. Trève. — Depuis quelques années, le midi moyen est

transmis de l'observatoire de Greenwich à l'amirauté de Londres par la chute d'un ballon placé à la sommité d'un mât ; mais ce système, entre autres inconvénients, présente celui de ne pas fournir un signal facilement perceptible (de loin surtout) par les temps de brouillards, et de ne pas faire précéder l'apparition de ce signal, d'un signal d'avertissement pour qu'on puisse se mettre en mesure d'observer. M. Trêve a cherché à faire disparaître ces inconvénients en proposant comme signal du midi moyen l'*apparition de l'éclair*, qui accompagne toujours la décharge d'une pièce d'artillerie. Cette décharge s'effectuerait alors électriquement sous l'influence d'un courant induit issu de la machine de Ruhmkorff et par l'intermédiaire de fils conducteurs qui relieraient la pièce de canon à l'observatoire du port. La fermeture de courant qui provoquerait cette décharge pourrait être faite, soit par l'officier de service attaché à l'observatoire, soit directement par le régulateur chronométrique lui-même, en ayant recours toutefois, dans ce cas, à un relais et à un mécanisme indépendant marchant synchroniquement avec l'horloge, comme l'avait indiqué, il y a trois ans, M. Liais. Une première décharge précédant la décharge-signal avertirait les observateurs de se tenir prêts, et, au moment de l'apparition de la lumière de la seconde décharge, ils régleraient leur chronomètre par les moyens d'usage. Comme la transmission des effets lumineux est instantanée et ne peut être troublée par l'intervention de causes extérieures, l'heure ainsi fournie pourrait être considérée comme véritablement exacte. Un rapport de l'amiral Du Petit-Thouars à l'Académie des sciences a, du reste, fort approuvé le projet de M. Trêve, qui est en ce moment en voie d'expérimentation.

Depuis la présentation de son Mémoire, et pour donner à son projet toutes les garanties désirables, M. Trêve a songé à faire servir l'explosion de la charge du canon à la coupure

de la faible corde qui retient la boule suspendue au mât de signaux, et qui dans son projet devrait être hissée au coup de canon d'avertissement tiré cinq minutes avant midi. « Ces deux moyens réunis sans complication aucune : d'une part le puissant éclair de la colonne de fumée qui jaillit de la bouche du canon à l'instant où l'on y met le feu, de l'autre, la chute immédiate de la boule, formeront, dit-il, un système de signaux répondant à tous les besoins des navigateurs. »

Nouveau régulateur des horloges de M. Breguet. — Nous avons vu dans le deuxième volume de notre *Exposé* que, pour éviter les irrégularités qui peuvent survenir dans la marche des compteurs électro-chronométriques par suite d'un mauvais entretien de la pile, de contacts altérés ou d'accidents survenus dans les conducteurs, M. Steinheil d'abord et M. Bain ensuite avaient imaginé de borner l'action électrique, dans l'horlogerie électrique, au simple réglage des horloges ordinaires; mais leur système, bien que très-simple, n'était pas assez sûr et ne fournissait pas de résultats assez précis pour qu'on pût s'y fier entièrement. M. Bréguet vient de résoudre le problème de la manière la plus complète et la plus satisfaisante au moyen d'un dispositif que nous représentons fig. 5, pl. II, et qui peut s'adapter à toutes les horloges possibles.

Dans la figure 5 (qui représente une sonnerie de pendule ordinaire avec sa minuterie et les mécanismes additionnels de M. Breguet), nous avons régularisé la position des mobiles afin qu'on puisse distinguer plus facilement les différentes parties de l'appareil; mais il est facile de comprendre que cette disposition n'est pas du tout commandée. Cela dit en passant, voyons comment M. Breguet a combiné son dispositif.

Sur l'axe creux de l'aiguille des minutes et sous le cadran se trouve adapté un bras A, terminé en pointe, dont la posi-

tion correspond à l'aiguille des minutes elles-mêmes. Au-dessus de la minuterie se trouvent placées deux roues R et R′, de même diamètre, engrenant ensemble et portant chacune, dans des positions symétriques, une cheville-butoir *i*, *i′*. Ces chevilles, en raison de leur position symétrique, doivent se trouver l'une vis-à-vis l'autre lorsqu'après avoir décrit une circonférence presque entière, elles arrivent en face du point d'engrènement des deux roues. Ces deux roues elles-mêmes reçoivent leur mouvement du mécanisme de la sonnerie par l'intermédiaire d'une roue montée sur l'axe de la roue des chevilles ou sur un axe spécial mis en rapport de mouvement avec le deuxième mobile de la sonnerie. Cette sonnerie, bien entendu, est supprimée, et son mécanisme est, comme on le voit, utilisé à l'opération du réglage. Par suite de ce changement de fonction, la roue de compte n'a plus besoin de ses entailles, et peut être utilisée pour le déclanchage. A cet effet, elle porte 3, 4 ou 6 entailles, suivant le rapport de la roue intermédiaire *r* avec les roues R R′, et suivant le rapport du pignon de cette roue *r* avec la roue *r′*, qui commande le mouvement du chaperon. Il faut, bien entendu, que l'intervalle de ces entailles corresponde exactement à un tour complet des roues R, R′.

Sur le levier de détente B de la sonnerie est adaptée une armature de fer doux C, maintenue par un ressort antagoniste et un butoir d'arrêt, et au-dessous de laquelle se trouve un électro-aimant E. Voilà tout le mécanisme dont le jeu est facile à saisir.

Supposons, en effet, que l'horloge régulatrice ferme toutes les douze heures un courant traversant l'électro-aimant E, l'armature C sera attirée et le déclanchage du chaperon aura lieu aussi bien que celui de la roue des délais; le mécanisme de la sonnerie sera mis en mouvement et les roues R, R′ feront un tour sur elles-mêmes dans le sens des flèches. Si l'horloge à régler se trouve en avance ou en retard, le bras A qui suit

l'aiguille des minutes se trouvera à gauche ou à droite de la verticale; mais alors l'une ou l'autre des chevilles *i*, *i'*, rencontrera ce bras et le ramènera suivant la verticale sans qu'il puisse y avoir la moindre déviation, puisqu'en arrivant à leur point de tangence ou d'engrènement ces deux chevilles *i*, *i'*, réagiront à la fois sur lui pour le maintenir dans une position fixe. Par ce moyen, l'aiguille des minutes se trouve ramenée à la verticale, c'est-à-dire à midi. Il est facile de comprendre qu'on pourrait régler sur toute autre heure, et que pour cela il ne s'agirait que de placer l'aiguille par rapport au bras A, de manière que l'angle fourni par leurs deux axes corresponde à celui qui existerait entre l'heure choisie et midi. On observera également que, pourvu que la fermeture du courant qui a provoqué la mise en mouvement du mécanisme précédent soit plus courte que le temps employé par les roues R, R', à accomplir un tour entier sur elles-mêmes, l'action de l'électro-aimant pourra être plus ou moins prolongée sans inconvénient; car une fois sortie d'une entaille la détente B ne peut plus arrêter les rouages que quand elle rencontre l'entaille qui suit; or, c'est en ce moment-là précisément que les roues R et R' ont achevé leur rotation.

Comme on a pu le remarquer, le champ dans lequel l'aiguille des minutes est susceptible d'être ramenée à l'heure par les roues R, R', est assez restreint, et ne comporte pas un retard et une avance de plus d'un quart d'heure. Il est vrai qu'avec un réglage toutes les douze heures, il faudrait qu'une horloge fût bien mauvaise ou bien mal réglée pour présenter des écarts plus considérables, ou même aussi considérables. Pourtant dans certains cas, où le réglage ne s'effectue qu'à des époques irrégulières, il est nécessaire d'ouvrir un champ plus grand à la correction, et nous verrons bientôt comment le problème peut alors se résoudre. Quoi qu'il en soit, le mécanisme de M. Breguet n'aurait pas encore

été suffisamment complet si ce mécanicien n'avait trouvé moyen de régler également l'aiguille des heures; car en ne réglant que l'aiguille des minutes, il pourrait se faire qu'au bout d'un certain nombre de corrections effectuées dans le même sens, l'heure indiquée par l'aiguille des heures fût complétement différente de l'heure véritable. Le moyen employé par M. Breguet pour effectuer cette correction est le même que celui que nous avons étudié; il a tout simplement adapté sur le canon de l'aiguille des heures un second bras A′, qui se trouve ramené à la verticale en même temps que l'autre bras par les chevilles i, i'. Seulement, à cause de l'engencement des aiguilles indicatrices sur leur canon respectif, un des deux bras additionnels se trouve placé en avant de la minuterie, et le second bras se trouve placé en arrière.

« On voit tout de suite, dit M. Breguet, le grand avantage que présente ce système; car en supposant que l'électricité n'ait pas agi pour une cause quelconque, il en résulterait que les horloges marcheraient toujours, que rien ne serait arrêté, et qu'il pourrait se faire seulement qu'elles fussent en avance ou en retard d'une ou de deux minutes. Mais on ne verrait jamais toutes les horloges arrêtées ou dérangées à la fois, comme cela arrive quelquefois avec les compteurs purement électriques. Les horloges étant réglées d'ailleurs comme à l'ordinaire, l'électricité pourrait ne pas remplir ses fonctions pendant deux ou trois jours sans inconvénient grave. »

Système de distribution électrique de l'heure de M. Liais. — « Jusqu'ici, dit M. Liais, on n'a envisagé le problème du réglage électrique des horloges qu'au point de vue de l'heure approchée et non à celui de l'heure exacte. Pour cette dernière, en effet, il ne s'agit pas d'agir sur les aiguilles des horloges, il faut encore amener les divers balanciers à la coïncidence des battements, sans quoi il peut exister des différences atteignant presque une seconde entière, et qui ne

sont pas négligeables dans le cas que nous considérons. Tel est le nouveau problème dont j'ai cherché la solution.

« Depuis longtemps déjà on a songé à ramener à l'heure exacte, des horloges électriques distributives, au moyen d'appareils *accélérateurs* ou *retardateurs* pouvant agir sur le pendule et modifiant d'un centième de seconde, par exemple, la durée de l'oscillation pendant le temps où on les fait agir, après quoi le pendule reprend immédiatement la durée primitive de ses battements. Une horloge munie d'un tel appareil d'avance ou de retard peut être exactement remise chaque jour à l'heure exacte. Il suffit, en effet, pour cela, après avoir déterminé par des observations la correction à appliquer à cette horloge pour la ramener au temps moyen, de mettre en prise l'accélérateur ou le retardateur, suivant le signe de cette correction, pendant un nombre de secondes égal au nombre de centièmes de retard ou d'avance.

« Malheureusement, quelque utile que paraisse au premier abord cette application, elle laisse beaucoup à désirer, à cause des mauvaises chances d'arrêt, soit complet, soit momentané. Ce dernier arrêt surtout est très-préjudiciable, parce que le compteur peut laisser passer plusieurs secondes et cesser par là d'être d'accord avec l'horloge régulatrice[1], et alors, comme on n'a aucun moyen immédiat de vérification, on est exposé à induire en erreur les personnes qui se servent de ces compteurs électriques pour régler les chronomètres.

« Pour remédier à ce grave inconvénient, on peut, comme je l'ai pratiqué, adjoindre aux appareils des moyens électriques de vérification et de réglage tels, qu'à l'instant fixé chaque jour pour remettre à l'heure exacte l'horloge motrice, on puisse d'une part s'assurer que les compteurs sont

1. Non-seulement il peut être en retard, mais encore il peut avancer sur l'horloge dans le cas où les courants électriques parviennent interrompus ou intermittents et déterminent des vibrations de l'armature.

d'accord avec elle, et d'autre part disposer des moyens nécessaires pour rétablir l'accord s'il a cessé. A cet effet, une pile placée près de celle de l'horloge lance son courant sur l'électro-aimant d'un compteur spécial A, et de là sur une seconde ligne qui est isolée ; sauf à la fin de chaque minute, où le compteur B, dont on veut surveiller la marche, établit la communication avec la terre par le moyen d'une dent placée sur la roue des secondes et qui rencontre un petit ressort. D'après cette disposition, on voit que si le compteur B est d'accord avec l'horloge, le compteur A doit marquer la fin de chaque minute en même temps que cette dernière ; sinon on peut, à l'aide d'un interrupteur placé sur le courant de l'horloge, faire avancer ou rétrograder le compteur B, dont l'accord sera vérifié à la fin de la minute suivante.

« Mais, au lieu de transmettre l'heure directement au moyen de l'électricité, on peut aussi n'employer cet agent que pour le réglage d'une pendule de précision placée à une grande distance. On y trouve l'avantage de n'avoir pas à faire construire de lignes spéciales, celles des télégraphes pouvant servir, puisqu'elles ne sont alors nécessaires que pendant quelques minutes par jour. Il importe, on le comprend, de n'employer qu'une seule ligne pour la comparaison et la remise à l'heure de chaque horloge. Voici comment on peut y parvenir.

« Le pendule de l'horloge à régler porte deux coupes coniques, l'une un peu au-dessous du point de suspension, l'autre un peu au-dessus. Ces coupes sont très-légères, de manière à ne pas altérer sensiblement la compensation du pendule, compensation qui peut d'ailleurs être combinée en conséquence. Au-dessus des coupes, sont suspendus par de petites chaînes semblables à celles de la fusée des montres, de petits poids sphériques qui, en s'abaissant, peuvent à volonté venir reposer dans les coupes. Celui de la coupe supérieure ralentit d'un centième de seconde la durée de l'oscil-

lation, et celui de la coupe inférieure augmente cette durée d'un centième de seconde. Les chaînes supportant les petits poids passent au-dessus de poulies et viennent s'attacher à des chevilles fixées sur les roues, de telle sorte que, dans la rotation de ces roues, les poids montent ou descendent d'un diamètre de la roue, et peuvent ainsi tantôt reposer dans les coupes, tantôt être suspendus au-dessus.

« Des poids moteurs notablement plus pesants que le poids accélérateur ou retardateur, tendraient à faire tourner les roues continuellement dans le même sens, sans les arrêts dus à deux butoirs portés par chacune d'elles aux deux extrémités d'un même diamètre, et appliqués sur leur contour suivant le prolongement de ces diamètres. Ces deux butoirs ne sont pas dans le même plan et viennent reposer alternativement sur la palette d'un électro-aimant pour chaque roue, palette dont le mouvement est perpendiculaire à celui de cette roue. L'un des butoirs repose sur la palette quand elle est attirée par l'électro-aimant et collée sur lui, l'autre sur cette même palette lorsqu'elle est écartée par le ressort antagoniste. Par cette disposition, on voit que chaque mouvement de l'armature donne lieu à une demi-révolution de la roue et par conséquent à un abaissement ou à une élévation du poids modificateur de l'oscillation. Les choses sont combinées de telle manière que quand les palettes ne sont pas attirées, les poids modificateurs sont soulevés. On voit donc que chacun de ces poids repose dans sa coupe quand son électro-aimant est aimanté, et se relève dès que l'aimantation cesse.

« Quand le poids accélérateur ou le poids retardateur viennent reposer dans les coupes, il y a une petite perte de force vive pour le pendule et de plus une petite augmentation de résistance. Pour éviter que l'amplitude soit notablement modifiée, il convient alors de faire en sorte que la puissance du moteur subisse une augmentation correspondante.

Dans ce but, de chaque côté de la poulie du moteur sont deux autres poulies plus petites portées sur le même axe que celle du moteur et entraînées chacune par un moteur additionnel les faisant tourner chacune dans le même sens que la grande poulie. Chacune de ces deux poulies auxiliaires est assujettie sur une roue à rochet épaisse et de même centre, de façon que la poulie et la roue à rochet ne puissent tourner qu'ensemble; l'une des poulies auxiliaires appartient à l'accélérateur, l'autre au retardateur, et des encliquetages commandés par les palettes des électro-aimants de chacun de ces appareils empêchent les poulies auxiliaires de tourner sous l'influence de leur moteur quand les électro-aimants ne sont pas aimantés, c'est-à-dire quand les modificateurs de l'oscillation ne sont pas en prise; mais ces mêmes encliquetages laissent les poulies libres dans le cas contraire. Sur la grande poulie du moteur existe de chaque côté un cliquet qui lui permet de tourner sans les poulies auxiliaires, mais qui ne laisse pas ces dernières tourner seules. L'épaisseur de la roue à rochet empêche d'ailleurs que ce cliquet et celui qui dépend de l'armature ne se rencontrent. On voit par là que chacun des deux moteurs additionnels s'ajoute au moteur de l'horloge quand l'appareil modificateur de l'oscillation correspondante est en prise, et que cette action des moteurs additionnels cesse dès que l'horloge reprend sa marche ordinaire.

« Tels sont les appareils d'accélération et de retard que j'ai imaginés. J'ai également combiné d'autres systèmes, mais je ne les décrirai pas ici pour ne pas trop allonger cette note. Il suffit dans tous les cas, pour faire avancer ou retarder l'horloge d'un certain nombre de centièmes de seconde, d'aimanter un électro-aimant pendant ce nombre de secondes.

« Voici comment on devra se servir de ces appareils :

« A la station du départ, que, pour abréger, j'appellerai

l'Observatoire, on disposerait une pile dont le pôle positif serait en rapport avec la terre et le pôle négatif en communication avec un interrupteur. En sortant de cet interrupteur, le courant traverserait un appareil de signal quelconque, soit électro-aimant, soit boussole, soit chronographe, et se rendrait de là sur la ligne.

« A la station où serait l'horloge munie d'un accélérateur et d'un retardateur, la ligne serait en communication avec le mouvement de l'horloge qui serait isolé. Dans ce mouvement existerait une roue faisant un tour en 10 minutes et portant une dent en platine. Cette dent rencontrerait, à la fin de chaque rotation de cette roue, l'extrémité en platine d'un léger ressort en communication avec la terre.

« Ainsi toutes les 10 minutes, quand à l'Observatoire la pile serait en communication avec la ligne, le signal de l'Observatoire fonctionnerait et permettrait de déterminer par comparaison avec la pendule sidérale l'état de l'horloge à régler[1].

« Deux minutes après le signal donné à l'heure, un rebord en platine de la roue soulèverait l'extrémité en platine d'un ressort en communication avec l'une des extrémités du fil de l'électro-aimant de l'accélérateur, fil dont l'autre extrémité serait en rapport avec la terre, et cet effet durerait 7 minutes. Si alors le courant n'a pas été coupé par l'observateur à l'aide de l'interrupteur de l'Observatoire, l'accélérateur se met en prise et y reste tout le temps qu'on n'interrompt pas le courant à l'Observatoire. Dans le cas de retard, l'horloge peut donc être remise à l'heure en cet instant, mais en cas d'avance on aura soin d'interrompre le courant pendant

1. Les appareils signaux pouvant donner lieu à un léger retard sur le battement de l'horloge à régler, ce retard serait déterminé d'avance en portant le signal près de l'horloge. On en tiendrait compte ensuite dans le calcul de la correction à appliquer. Si le signal était un chronographe, la comparaison serait très-précise.

9 minutes après le premier signal. A 9 minutes et demie, on rétablira le circuit, et un second signal sera donné à 10 minutes. Si l'horloge a été réglée exactement, le second signal le fera connaître. Si, au contraire, elle avançait et n'avait pu être encore réglée, on vérifiera le calcul de l'erreur, et à 12 minutes un deuxième rebord de la roue des minutes placé à une distance du centre différente de celle du premier, rencontrera un second ressort qui fera passer le courant dans l'électro-aimant du retardateur. Ce courant y resterait 7 minutes, si on ne l'interrompait pas à l'Observatoire. On profitera de cet instant pour régler; on arrêtera le courant après le nombre de secondes voulu, et à 19 minutes et demie on rétablira le circuit pour recevoir un signal qui fera connaître si la correction convenable a été appliquée.

« Dans l'horloge que nous venons de décrire, les courants électriques ne seront guère en fonction qu'une fois par jour; par conséquent ils s'useront très-peu; de plus, ils ne seront pas appliqués sur les derniers mobiles, de sorte qu'ils ne réagiront pas sensiblement sur la marche du pendule, comme cela a lieu dans les horloges électriques proprement dites. Rien n'empêchera donc qu'avec la nouvelle disposition les horloges employées ne soient d'excellents régulateurs qui donneront l'heure pendant toute la journée avec plus d'exactitude qu'une horloge à contacts électriques, placés à l'Observatoire, et faisant fonctionner des compteurs, ne pourrait le faire. Le but que l'on se propose est donc mieux obtenu, l'application est possible sur une plus grande échelle, puisque l'on peut se servir des lignes télégraphiques ordinaires, enfin les arrêts des appareils ne sont plus à redouter.

« Nous ajouterons toutefois que l'application de l'électricité au réglage des horloges ne pourrait pas dans tous les cas remplacer l'emploi du même agent pour la transmission du temps. L'horlogerie électrique est en effet nécessaire dans plusieurs applications scientifiques, et spécialement pour les

appareils chronographiques, ou enregistreurs de l'instant d'un phénomène, soit astronomique, soit physique.

« Le système de détente électrique que je viens de proposer pour les accélérateurs et les retardateurs des oscillations des pendules peut aussi servir dans le cas où on se propose de ramener plusieurs horloges à la même heure à peu près, en agissant sur les aiguilles. Il suffit pour cela de remplacer le poids accélérateur ou retardateur par une tige cylindrique terminée en coin, et poussée dans un tube par un ressort de manière à s'engager dans une entaille au coin faite aux roues des minutes et des secondes de l'horloge à régler. L'horloge régulatrice portera alors sur sa roue des minutes une dent en platine qui, rencontrant un ressort en communication avec la ligne, lancera sur cette ligne un courant. Ce courant, agissant sur les détentes, ramènera à chaque heure au zéro les aiguilles des minutes et des secondes de toutes les horloges placées dans le circuit. Si l'on veut savoir si toutes les horloges ont été réglées, il suffit que chacune d'elles ait sur sa roue des minutes une dent en platine qui, une, ou deux, ou cinq minutes après l'heure, rencontre un ressort et ferme pendant deux secondes le circuit d'une seconde ligne transmettant un signal à l'Observatoire. Si toutes les horloges sont d'accord, le circuit sera fermé dans toute son étendue et le signal se mettra en marche. Si l'une d'elles n'a pas été réglée, le signal ne bougera pas. »

Nouveaux perfectionnements apportés aux régulateurs électro-solaires de M. Th. Du Moncel. — J'ai longtemps cherché à résoudre d'une manière simple le problème de la remise à l'heure des horloges ordinaires sous l'influence solaire; mais le problème était assez complexe, comme on a pu en juger par la description que j'ai faite de mes premiers appareils dans le tome II de mon *Exposé*. Cependant, après bien des recherches, je suis arrivé à une solution qui me paraît satisfaisante, du moins en ce qui concerne l'action électrique

exercée sur les horloges elles-mêmes. Quant à l'appareil appelé à produire cette action, il est resté toujours avec la dernière disposition que j'ai décrite page 264, tome II.

Pour qu'on puisse bien comprendre les nouveaux perfectionnements que j'ai apportés à mon invention, il faut qu'on se rappelle que de la réaction produite sur l'appareil transmetteur par l'effet du passage du soleil au méridien résulte une fermeture de courant qui doit ramener les horloges à midi. Mais comme cette fermeture de courant est forcément de longue durée, et que, par sa permanence, elle continuerait une réaction qui doit être instantanée, un rhéotome disjoncteur devait être appliqué au mécanisme régulateur. De plus, comme la remise à l'heure, dans le système dont nous parlons, suppose la présence du soleil à midi, et que cet astre ne se montre pas tous les jours à cette heure, il fallait, pour corriger les différences assez grandes qui pouvaient exister entre l'heure solaire et l'heure fournie par l'horloge, un mécanisme susceptible de ramener les aiguilles à midi, quelle que fût leur position sur le cadran.

Pour résoudre ce dernier problème, j'emploie un système analogue à celui de M. Breguet, que j'ai décrit précédemment; seulement, au lieu d'un seul rayon soudé sur l'arbre des minutes, j'en emploie quatre, disposés en étoile, comme on le voit fig. 14, pl. II. L'un de ces rayons *a*, au lieu de se trouver dans le plan des trois autres, se trouve placé un peu en avant de ce plan, et à une distance suffisante de la surface des roues R, R′, pour être rencontré par les butoirs *i*, *i′*, et être ramené par eux selon la verticale. La roue R porte trois autres goupilles plus courtes que *i*, *i′*, mais qui peuvent rencontrer les autres rayons *b*, *c*, *d*. Enfin les roues R et R′ ont leur axe assez rapproché de la minuterie pour que les butoirs *i*, *i′* puissent rencontrer le rayon *a* dans l'étendue de plus d'une demi-circonférence. Il arrive alors que si ce rayon *a* ne se trouve pas dans une position convenable pour être

rencontré par les butoirs *i*, *i'*, l'un ou l'autre des trois autres rayons sera toujours placé de manière à être atteint par l'une des chevilles courtes de la roue R. De cette rencontre résultera un détournement de l'étoile *abcd*, qui, s'il n'est pas suffisant pour mettre le rayon *a* à portée des butoirs *i*, *i'*, permettra toujours à la seconde cheville de la roue R de saisir un nouveau rayon et de faire tourner de nouveau l'étoile jusqu'à ce que le rayon *a* soit arrivé dans le champ correspondant aux butoirs *i*, *i'*. Alors ces butoirs ramènent définitivement le rayon *a*, et, par suite, l'aiguille des minutes, suivant la verticale.

Pour couper le courant après que son action sur l'électro-aimant a provoqué la rotation des roues R, R', je dispose à côté de la roue R un compas articulé ABC, dont un bras BC appuie contre un ressort D et un butoir d'arrêt E, sollicité qu'il est par un ressort R, et dont l'autre bras AB, portant un bec A, se trouve à portée du butoir *i*. Un ressort à crochet S, placé devant la roue des minutes de la minuterie, présente son crochet à l'extrémité C du bras BC, de telle sorte que quand le compas se trouve soulevé par le butoir *i*, cette extrémité se trouve solidement clanchée en G. Toutefois, ce clanchement n'est pas de longue durée, car quand une goupille *x* que porte la roue des minutes vient à passer devant ce ressort S, ce qui a lieu au bout d'une heure environ, elle écarte la dent G du levier BC, et celui-ci vient reprendre sa position initiale contre le ressort D. Si l'on considère que le courant, avant d'aller animer l'électro-aimant de déclanchage, est obligé de passer par le ressort D et le compas ABC, on comprendra facilement que tout le temps que BC sera en prise avec la dent G du ressort S, le courant sera forcément interrompu, bien que la fermeture qui a provoqué le déclanchage des roues R, R' subsiste toujours. Cette interruption ne durera, il est vrai, qu'environ une heure; mais après ce temps la fermeture de courant fournie par le

transmetteur n'existera plus, la cause qui l'avait provoquée ayant cessé avec l'éloignement du soleil du méridien.

Horloge électro-solaire de M. Regnard. — M. Regnard a cherché à donner de l'extension au système précédent, en combinant un appareil au moyen duquel l'action du soleil

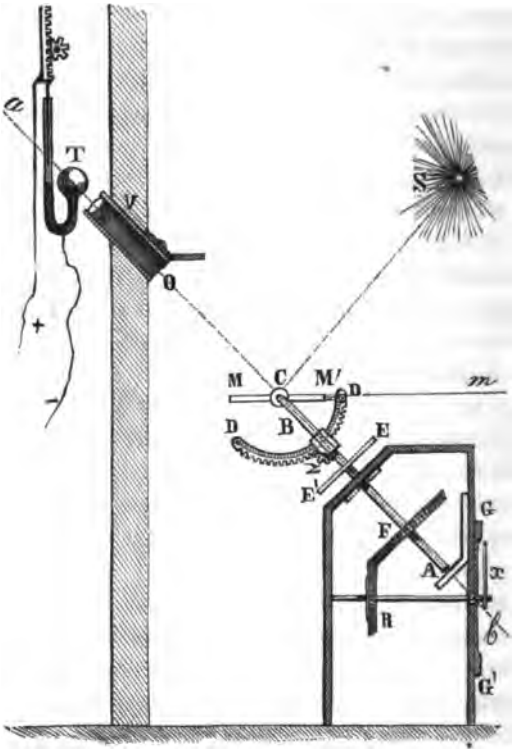


Fig. 57.

peut être employée à conduire les mouvements d'une horloge. Bien que cette combinaison ne soit encore qu'à l'état d e conception, elle pourra peut-être intéresser quelques-uns de

nos lecteurs, et, dans cette persuasion, nous reproduisons l'explication que nous en a donnée M. Regnard lui-même :

« L'axe AB, fig. 57 ci-contre, coïncide avec la ligne *ab*, qui est parallèle à l'axe de la terre. Il porte à son extrémité supérieure, vis-à-vis du pôle arctique, un miroir MM′ articulé dans une fourchette au moyen de deux pivots diamétralement opposés. L'arc DD soutient ce miroir suivant une inclinaison qu'on règle à volonté au moyen d'une crémaillère et d'un pignon *z* qu'on tourne à la main. La ligne *ab* passe par le centre du miroir.

« On peut, en faisant tourner l'axe AB d'une part, et le pignon *z* d'une autre, placer le champ du miroir dans une position perpendiculaire aux rayons du soleil. La déclinaison du jour de l'observation est alors indiquée par l'angle que la ligne axiale *ab* forme avec la surface du miroir, et l'heure est indiquée par l'angle que l'axe du miroir forme avec le méridien du lieu. Cet angle est mesuré par les divisions du cercle équatorial EE′. Si on incline le miroir de manière que la ligne de sa surface *m*M partage en deux parties égales l'angle SC*b* formé par la ligne axiale *ab* avec le rayon qui arrive du soleil S au centre du miroir, on a l'angle *a*CM égal à l'angle SC*m*. En effet, l'angle SC*m* = l'angle *m*C*b* par construction, et l'angle *a*CM = *m*C*b* comme opposé au sommet; donc SC*m* = *a*CM. Les rayons incidents seront ainsi réfléchis par le miroir suivant la ligne axiale C*a*; et comme la déclinaison ne varie pas sensiblement du matin au soir, cet effet se produira à toutes les heures du jour, pourvu que le miroir, en pivotant sur l'axe AB, suive le mouvement du soleil.

« Il résulte de là plusieurs conséquences :

« En premier lieu, il suffit d'amener la lumière projetée par les rayons réfléchis sur un point fixe O, pris à volonté sur la ligne C*a*, et marqué sur un mur ou sur une colonne, pour que l'appareil indique à la fois l'heure par la position du cercle équatorial EE′, et les quantièmes et les mois par

la position de l'axe des déclinaisons DD, dont les divisions sont réduites à moitié.

« En second lieu, si l'axe AB n'était point placé dans une ligne parallèle à l'axe de la terre, la lumière réfléchie par le miroir ne pourrait être maintenue sur un point fixe à toutes les heures du jour. On peut donc déterminer la position de cet axe en cherchant cet effet par des tâtonnements. L'appareil peut ainsi servir pour déterminer dans chaque lieu la direction de l'axe du monde et, par suite, la latitude et la méridienne.

« Ces résultats peuvent être légèrement troublés par la réfraction que les rayons du soleil subissent en traversant l'atmosphère; mais on peut tenir compte de cette influence et en corriger les effets.

« La roue F disposée sur l'axe AB s'engrène avec la roue R, dont les dents sont de moitié moins nombreuses. L'axe de cette roue porte une aiguille x qui marque les heures sur un cadran GG'. On peut y ajouter les rouages d'une minuterie si l'on veut avoir l'indication des minutes. L'aiguille x est sur midi lorsque l'axe du miroir est perpendiculaire au plan du méridien; et comme la roue R fait deux tours pendant que la roue F n'en fait qu'un, les heures occupent sur le cadran G douze divisions, comme dans l'horlogerie ordinaire.

« L'observateur fait tourner les aiguilles en réglant au besoin la déclinaison jusqu'à ce que la lumière réfléchie par le miroir arrive au point fixe O. L'horloge est alors mise à l'heure. Elle ne fournit, comme on le voit, ses indications qu'à l'aide d'une opération qui appelle la main de l'observateur; mais il s'agit de la faire marcher automatiquement.

« Un mécanisme d'horlogerie ordinaire, à poids ou à ressort, dont le mouvement est régularisé par un balancier circulaire, fait tourner la roue R avec une vitesse qui serait à peu près double de celle de la marche du temps si l'appareil

était abandonné à lui-même. L'action du soleil se bornera dès lors à l'arrêter sans cesse à l'heure.

« A une distance du miroir assez courte pour que les aberrations produites par la réfraction atmosphérique soient encore peu sensibles ou puissent être convenablement corrigées, est un tube V placé sur le prolongement de la ligne axiale *ab* et terminé par une lentille L. Au foyer de cette lentille est un thermomètre à tube ouvert T, suffisamment abrité pour que la température ne le fasse varier que de quelques degrés dans le cours d'une journée. Les deux fils conducteurs d'une pile électrique arrivent l'un au mercure de ce thermomètre, et l'autre à un fil de platine qui pénètre dans le tube. Un électro-aimant placé dans le circuit de cette pile agit sur un cliquet qui arrête le balancier de l'horloge dès que le courant est fermé.

« On remonte l'horloge le matin, on règle en même temps la déclinaison, on place les aiguilles à quelques minutes de retard, et on fait descendre le fil de platine dans le tube du thermomètre à une distance du mercure assez grande pour que les variations produites par la température de la journée n'établissent pas le contact. Aussitôt que l'horloge, dans son mouvement accéléré, arrive à l'heure, les rayons solaires sont envoyés par le miroir dans le tube V et concentrés par la lentille sur la boule du thermomètre. Le mercure monte alors rapidement et touche le fil de platine, le circuit se ferme, et l'électro-aimant arrête l'horloge. Bientôt les rayons lumineux s'éloignent du centre du tube, le mercure du thermomètre descend et cesse d'être en contact avec le fil de platine, le courant est rompu, l'horloge reprend son mouvement et ramène les rayons solaires au centre du tube, le mercure remonte, et l'horloge est arrêtée de nouveau à l'heure du soleil par l'action des rayons solaires sur le thermomètre.

« La chaleur concentrée par la lentille L dans la boule du

thermomètre surpasse, comme nous l'avons dit, assez les variations de la température du jour pour maintenir le niveau de la colonne mercurielle au-dessus de ces variations, et la mettre seule en contact avec le fil de platine. Cependant, pour mieux assurer cet effet, on peut renverser la disposition de l'appareil, disposer le miroir à l'autre extrémité de l'axe AB, vis-à-vis du pôle antarctique, et placer le thermomètre dans un endroit souterrain.

« On peut aussi maintenir automatiquement le fil de platine à une hauteur uniforme au-dessus du niveau thermométrique donné par la température régnante, en employant un second thermomètre sur la colonne duquel est un petit poids flotteur suspendu à l'extrémité d'un fil. Ce fil passe sur une poulie légère et porte à son autre extrémité un petit contre-poids. Un second fil attaché sur une autre poulie fixée sur le même axe supporte le fil de platine qui, suivant ainsi tous les mouvements du petit poids flotteur, reproduit ces mouvements dans le tube du thermomètre où il est suspendu, et se tient à une distance uniforme du niveau du mercure. Le diamètre des deux poulies est réglé pour contre-balancer la différence qu'il pourrait y avoir dans la marche des deux thermomètres s'ils n'étaient pas parfaitement synchroniques. »

Pendule magnéto-électrique de M. H. de Kerikuff.—M. H. de Kerikuff a voulu faire intervenir les courants induits que peuvent provoquer, de la part d'une bobine, le rapprochement ou l'éloignement d'un aimant fixe, pour entretenir la marche d'un pendule qui serait appelé lui-même à mettre en jeu l'aimant fixe. C'est, comme on le voit, le mouvement perpétuel présenté sous sa forme la plus spécieuse. Mais dans ce cas pas plus que dans les autres il ne peut physiquement exister. En attendant, voici comment M. de Kerikuff dispose les différents organes qui doivent fournir l'effet que nous avons annoncé.

Sur la tige d'un pendule suspendu en C, fig. 58 ci-contre, se trouve fixée une traverse de cuivre AB portant en E et G deux petites palettes aimantées, et en A et B deux aimants fixes d'une certaine énergie. Au-dessus de ces aimants sont disposées deux bobines d'induction H et I dont les fils sont

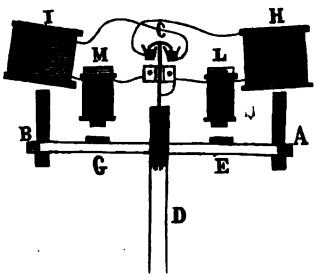


Fig. 58.

réunis isolément à ceux de deux électro-aimants L et M placés au-dessus des palettes E, G. Enfin un double interrupteur à mercure, interposé en C dans les circuits des bobines d'induction, est disposé de manière à interrompre ces circuits au moment des oscillations ascendantes du pendule. Voici alors, selon M. de Kerikuff, ce qui doit arriver quand le pendule accomplit ses oscillations :

Au moment où le pendule incline vers la droite, l'aimant A s'introduit dans la bobine d'induction H et provoque un courant inverse ; mais ce circuit étant alors interrompu, le courant ne produit aucun effet sur l'électro-aimant L. Au contraire, quand le pendule commence son oscillation rétrograde, un courant direct prend naissance, et en traversant l'électro-aimant L détermine entre les pôles de celui-ci et ceux de la palette E, une répulsion qui restitue au pendule la quantité de mouvement qu'il avait perdue. Quand le pendule incline à gauche, les mêmes phénomènes se reproduisent ; de telle sorte qu'une fois une première impulsion communiquée au

pendule, le mouvement de celui-ci se trouve entretenu indéfiniment.

Si l'on considère que du fait même de la production des courants induits résulte, entre les aimants A et B et les hélices induites I et H, une réaction qui est attractive pour les courants directs, répulsive pour les courants inverses, on arrive à conclure que toute l'action mécanique qui pourrait être produite par la répulsion exercée par les électro-aimants M et L se trouve complétement détruite dans la disposition précédente, et cet effet se reproduirait également si, au lieu d'utiliser les courants directs, on avait utilisé les courants inverses. On retrouve donc là comme partout le grand principe d'équilibre qui gouverne les forces physiques de la nature, et qui empêchera toujours le mouvement perpétuel d'être trouvé.

VI

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AUX APPAREILS DE PRÉCISION ET D'OBSERVATION.

CHRONOGRAPHES.

Appareils chrono-électriques à induction de M. Martin de Brettes. — Les chronographes ont fait l'objet d'un long chapitre dans le deuxième volume de notre *Exposé*, et à en juger par les remarquables perfectionnements qui ont été successivement apportés à cet instrument par MM. Navez, Martin de Brettes, Gloesener, etc., on aurait cru le problème complétement résolu ; pourtant les théoriciens ne se sont pas montrés encore complétement satisfaits, et plusieurs perfectionnements étaient encore réclamés, surtout en vue du mode d'enregistration des indications. L'intervention des

électro-aimants, en effet, en raison du temps appréciable qu'exigent leur aimantation et leur désaimantation, n'avait jamais été acceptée sans réclamation, et les traces électrochimiques, qui avaient produit jusqu'ici les meilleurs résultats[1], ne présentaient pas toujours des terminaisons assez nettes pour des observations d'une grande précision. M. Martin de Brettes, en étudiant de nouveau la question, s'est alors imaginé de substituer à ces diverses réactions électriques la propriété que possède l'étincelle d'induction de percer très-finement le papier quand elle est excitée par un rhéophore pointu. De cette manière, des indications peuvent être produites à distance sans que leur tracé puisse embarrasser en quoi que ce soit la marche du mobile appelé à les déterminer et sans qu'on ait à tenir compte des temps perdus dans le jeu des organes enregistreurs, comme cela avait lieu avec les autres systèmes chronographiques. Pour être juste, nous devons dire que MM. Grove et Hearder avaient déjà depuis longtemps mis cette propriété des courants induits à contribution pour mesurer le nombre des décharges d'un courant induit dans l'unité de temps; mais leurs appareils étaient loin de constituer des chronographes usuels.

Le principe de l'enregistration électrique étant trouvé, il ne s'agissait plus que de l'adapter aux autres systèmes chronographiques que nous avons décrits, pour en faire des instruments beaucoup plus exacts. Mais M. Martin de Brettes a pensé avec justesse, qu'en raison même de la facilité qu'on pouvait avoir par ce système d'enregistrer à distance, il était plus simple d'avoir recours au pendule balistique lui-même ou à un appareil dont le mobile fût assujetti à une loi de mouvement connu et formulé mathématiquement. C'est de ce système seulement que nous parlerons.

Les figures 1, 2, 3, pl. III, représentent le nouvel instru-

1. C'est moi qui le premier en 1853 ai fait construire des chronographes sur ce principe.

ment de M. Martin de Brettes, avec les appareils accessoires (disjoncteur et conjoncteur de courant) destinés à le faire marcher dans les expériences de balistique auxquelles M. Martin l'emploie particulièrement. P, fig. 1, pl. III, est le pendule balistique qui doit fournir les indications au moyen d'une pointe de platine I qui le termine inférieurement et qui se meut devant un limbe gradué sur lequel est appliquée une bande de papier découpée circulairement. E est l'électro-aimant qui retient le pendule P écarté de la verticale avant l'expérience. Enfin *a b*, *a′ b′* sont des boutons d'attache en rapport, les uns, *a* et *b*, avec les deux pôles de l'appareil d'induction de Ruhmkorff, les deux autres avec le disjoncteur et l'appareil qui doit provoquer l'indication chronographique. Par l'intermédiaire des boutons *a* et *b*, le limbe gradué et le pendule P qui en est isolé métalliquement, se trouvent interposés dans le circuit induit qui, par ce fait, n'est plus interrompu qu'en I; encore cette interruption n'est-elle que d'un millimètre au plus. Par les boutons *a′ b′* l'électro-aimant E est mis en rapport avec le circuit extérieur à travers lequel circule le courant d'une pile ordinaire.

Le conjoncteur, fig. 3, se compose, comme celui du capitaine Navez, d'une bobine magnétique A que l'on peut disposer à hauteur convenable, au moyen d'un support vertical AB et d'une vis de pression C. Cette bobine soutient dans son intérieur un cylindre en fer doux, pendant que le courant qui est en rapport avec elle est en activité et le laisse retomber quand le circuit est interrompu; mais en tombant, ce cylindre rencontre une des extrémités d'un levier métallique DE qu'il fait légèrement abaisser, et de cet abaissement résulte la séparation momentanée de l'extrémité E d'avec la vis butoir qui la supporte en temps normal, poussée qu'elle est par un ressort antagoniste; comme cette vis butoir et le levier DE sont en rapport avec le courant qui doit réagir sur le circuit inducteur de l'appareil de Ruhmkorff, il arrive que

pour chaque rupture du courant, à travers l'électro-aimant A, le circuit inducteur de l'appareil de Ruhmkorff se trouve interrompu et peut dès lors provoquer une étincelle dans le circuit induit, si on a eu le soin d'enlever préalablement de cet appareil le marteau interrupteur.

Par le fait, l'appareil que nous venons de décrire n'est qu'un simple relais disjoncteur, et non un conjoncteur de courant comme celui du capitaine Navez. Il est vrai que M. Martin de Brettes, dans sa brochure, l'a représenté comme un véritable conjoncteur, mais c'est évidemment par erreur; car, M. Martin doit savoir que le courant induit qui résulte d'une fermeture de courant, est un courant inverse qui ne produit jamais d'étincelle dans l'appareil de Ruhmkorff.

« Le disjoncteur proprement dit (fig. 2, pl. II) se compose, dit M. Martin, d'un plateau de bois servant de support à un parallélogramme articulé. Ce parallélogramme est formé de deux règles égales en cuivre, dont une des extrémités est réunie par un boulon formant charnière avec une troisième règle en ivoire ou en autre substance isolante et dont l'autre est traversée par un pivot fixe. Chacune des deux règles métalliques peut tourner autour de son pivot. Mais dans ce mouvement de rotation, elles restent constamment parallèles entre elles. Ce parallélisme est obtenu facilement en plaçant les quatre articulations au sommet des angles du parallélogramme. Chaque règle métallique se redresse verticalement à l'extrémité opposée au pivot et forme ainsi un petit plateau servant de contact à l'extrémité d'une petite vis dont l'écrou communique avec un petit bouton d'attache *mm*. Le pivot métallique de chaque règle est aussi en co nmunication avec un bouton d'attache *n*.

« La grande règle d'ivoire se redresse aussi à l'une de ses extrémités comme les précédentes pour présenter une surface de contact à une développante de cercle qui en tournant presse cette règle, la déplace parallèlement à elle-même, et

éloigne ainsi également de leurs vis respectives les extrémités relevées des règles métalliques.

« Une roue à rochet montée sur le même axe que la roue à développante permet, au moyen d'un doigt, de maintenir cette solution de continuité aussi longtemps qu'on le désire.

« La pression d'un ressort contre la règle d'ivoire ramène les règles métalliques au contact des vis placées vis-à-vis de leurs extrémités, quand la développante cesse de presser l'extrémité de la règle d'ivoire. »

J'ignore quels sont les motifs qui ont engagé M. Martin de Brettes à compliquer autant un mécanisme si simple en lui-même et qui pourrait se réduire en fin de compte à un double frotteur à manette, relié par une tige et agissant sur deux plaques métalliques dont on pourrait même régler avec précision la position au moyen de deux vis de rappel.

Nous ne reviendrons pas ici sur la disposition des appareils chronographiques qui a été longuement décrite dans notre deuxième volume ; nous rappellerons seulement que quand il s'agit d'appliquer ces appareils à la balistique, les projectiles ayant pour effet de rompre une ou plusieurs cibles placées à des distances connues sur leur passage, il faut obtenir que la rupture de ces cibles ait pour effet la rupture d'un nombre correspondant de circuits pouvant réagir sur le chronographe ; or c'est par l'intermédiaire du conjoncteur ou plutôt du relais disjoncteur que nous avons décrit, et qui est interposé dans chacun de ces circuits, que cette réaction sur le chronographe a lieu, en provoquant pour chaque rupture de cible une étincelle entre la pointe I du pendule balistique et le limbe, laquelle étincelle traversera la bande de papier interposée.

Si donc le pendule, par l'interruption du courant traversant l'électro-aimant E, s'est trouvé mis en mouvement en même temps que le projectile, il s'ensuivra que les traces laissées par chaque étincelle s'échelonneront les unes à la suite des autres

à des distances qui seront en rapport avec les temps où se sont effectuées les différentes ruptures des circuits [1]. Comme ces temps peuvent se déduire par le calcul et les lois de la pesanteur, de la position sur le limbe, des traces dont nous avons parlé, on arrive donc à résoudre d'une manière assez simple le problème. Toutefois il est, comme nous l'avons vu dans notre deuxième volume, certaines vérifications qui doivent être faites préalablement pour que les inégalitées d'action des conjoncteurs et les pertes de temps provenant du jeu des appareils puissent être éliminées des résultats obtenus; et c'est à ces vérifications que sert le disjoncteur que nous avons décrit précédemment. Nous renvoyons pour ces vérifications aux détails que nous avons donnés page 349, tome II, et à la brochure de M. Martin de Brettes (chez Corréard, 1858).

M. Martin de Brettes a encore appliqué le principe de l'appareil précédent à un autre système de chronographe qu'il appelle *appareil chrono-électrique à mouvement vertical*, et qui se rapproche, quant à sa disposition, de l'appareil de M. Morin pour la détermination des lois de la pesanteur. Il consiste essentiellement dans un électro-aimant droit vertical que traverse une espèce de tringle carrée en cuivre et que l'on peut placer à telle hauteur que l'on veut, au moyen de vis de pression qui fixent son support sur deux montants verticaux dont l'un est gradué. Un cylindre de fer doux, traversé

1. Cette déduction est basée sur l'hypothèse de la simultanéité de la production de l'étincelle d'induction, et de l'interruption du circuit inducteur, fait qui n'est pas encore parfaitement constaté. « Pour aller au-devant de cette objection, dit M. Martin de Brettes, l'appareil a été disposé de manière que le circuit induit et la pile électro-motrice restent toujours dans les mêmes conditions chaque fois que l'appareil d'induction est mis en jeu pour percer le papier. Les circonstances dans lesquelles on opère restant ainsi constantes, les résultats mécaniques seront aussi constants et l'étincelle sera toujours ou simultanée avec l'interruption du courant inducteur ou en retard sur elle d'une durée constante. »

également par la tringle de cuivre précédente, sert d'armature à cet électro-aimant et porte une pointe de platine destinée à réagir électriquement sur un cylindre métallique placé verticalement en face d'elle, et recouvert d'une feuille de papier. Ce cylindre et la tringle sur laquelle se meut l'armature sont interposés dans le circuit induit de l'appareil de Ruhmkorff, tandis que l'électro-aimant droit fait partie du circuit extérieur. Le conjoncteur et le disjoncteur sont d'ailleurs exactement les mêmes que ceux que nous avons décrits. Voici maintenant comment cet appareil fonctionne.

Avant l'expérience, l'armature touche l'électro-aimant et maintient la pointe de platine vis-à-vis un repère marqué sur le papier du cylindre enregistreur. Mais, au moment où le premier circuit est rompu, le courant se trouve interrompu à travers l'électro-aimant, et cette armature tombe en suivant la tringle qui lui sert de guide; si pendant la durée de sa chute, deux ou plusieurs circuits ont été rompus, deux ou plusieurs étincelles auront été échangées entre la pointe de platine et le cylindre, et les marques de ces étincelles se trouveront conservées sur le papier. En rapportant les distances réciproques de ces marques à la hauteur totale de la chute de l'armature, il sera facile, au moyen des formules de la chute des corps, de connaître les intervalles de temps qui ont séparé les ruptures successives des différents circuits. Cette disposition de chronographe permet de faire une série d'expériences sans qu'il soit besoin de toucher à l'appareil, car il suffit, pour empêcher les marques fournies par chacune d'elles de se confondre, de tourner un peu le cylindre après chaque expérience et d'assurer sa position au moyen d'un encliquetage dont son axe est muni.

M. Martin de Brettes a indiqué plusieurs applications intéressantes du mode de traçage électro-physique dont nous avons parlé. En l'appliquant à l'enregistration des mouvements du pendule, on peut étudier, d'une manière plus com-

plète qu'on ne l'a fait jusqu'ici les lois de la décroissance des oscillations du pendule, suivant leur amplitude et la masse de ce pendule. Il suffit pour cela de placer entre une plaque métallique et un pendule oscillant une feuille de papier, entraînée lentement de bas en haut par un mouvement d'horlogerie; la plaque et le pendule étant mis en rapport avec le circuit induit, il se détermine sur cette feuille de papier une série de zigzags tracés par des trous d'étincelles qui vont en diminuant d'étendue jusqu'à l'extinction complète du mouvement du pendule. En employant le chronographe à indicateur mobile le long d'un cylindre, et en soumettant cet indicateur à l'action de forces de nature différente, telles que celles résultant de la détente d'un ressort, de l'explosion d'un gaz, de l'explosion de la poudre, etc., on peut étudier facilement les effets mécaniques de ces éléments moteurs, et d'autant plus facilement que le cylindre peut être mis en mouvement avec une vitesse connue. On peut même vérifier par ce dernier moyen les lois de la chute des corps. Quel que soit en effet le mouvement de l'indicateur, qu'il soit continu ou alternatif dans les limites de la longueur du cylindre enregistreur, l'étincelle tracera toujours par petits points sur ce dernier une courbe représentative de la loi de ce mouvement, car si on développe la feuille de papier sur laquelle elle est tracée, on obtient une courbe plane dont les ordonnées parallèles à l'axe du cylindre sont les espaces parcourus, et les abscisses parallèles à la base du cylindre développé les temps correspondants.

M. Martin de Brettes cite encore parmi les applications de ses appareils les déterminations du nombre d'étincelles produites par les appareils d'induction dans l'unité de temps et des intervalles de temps séparant l'apparition de deux étincelles consécutives. Mais cette application avait été, comme nous l'avons déjà dit, non-seulement indiquée avant lui, mais encore réalisée par MM. Grove et Hearder.

Chronographe de MM. Digney frères. — Lorsqu'on n'exige pas de la part des chronographes une grande précision et que les fractions de temps à estimer ne dépassent pas des vingtièmes de seconde, le chronographe de MM. Digney peut être employé avantageusement. C'est un appareil très-simple dans sa construction et ses fonctions, qui a été déjà utilisé à l'institut technomatique, lors de la dernière éclipse de soleil, pour enregistrer les instants précis des observations.

Cet appareil n'est autre chose qu'un appareil Morse construit dans le système de MM. Digney et Beaudouin, ayant deux molettes traçantes montées l'une à côté de l'autre sur le même axe et deux électro-aimants, avec armature à râteau pour agir isolément sur chacune de ces molettes. L'un de ces électro-aimants, mis en rapport avec un pendule battant la seconde, fournit des traces toutes les secondes sur une bande de papier entraînée par le mouvement d'horlogerie de l'appareil, et c'est le second électro-aimant qui, en réagissant sur la même bande de papier, fournit les traces en rapport avec les effets qu'il s'agit d'estimer chronographiquement. L'estimation du temps se déduit ensuite de la correspondance graphique de ces dernières traces avec les premières.

Ce système, comme on le voit, est le même en principe que celui des chronographes employés aux observatoires de Greenwich et de Paris.

Chronographe de l'usine hydraulique de Caen. — Nous avons parlé, dans le deuxième volume de notre *Exposé*, page 367, de l'importance que pouvait présenter l'application des chronographes aux moteurs pour vérifier leur marche et mesurer le travail mécanique produit. Un appareil de ce genre, établi d'après le système que j'avais imaginé en 1853[1], a été installé dernièrement à Caen, à l'usine hydraulique, qui

1. Le défaut de place m'avait empêché de donner la description de ce système dans la seconde édition de mon *Exposé*, mais on peut la retrouver dans la première édition, premier volume, page 156.

fait la distribution des eaux d'alimentation dans cette ville. Voici la description qui en a été faite, dans le *Moniteur du Calvados* du 15 mai 1857, par M. A. Crevel, employé au télégraphe, auteur de plusieurs notices importantes sur les applications électriques :

. . . . . .

« Nous avons d'abord, dit-il, un *chronographe* qui a pour mission de compter et d'enregistrer la quantité d'eau fournie par la pompe, dans un certain espace de temps ; il permet, en outre, de constater toute irrégularité survenue dans la marche de la machine.

« Cet instrument est établi d'après un système imaginé, depuis plusieurs années, par M. Th. du Moncel ; là, comme dans ses autres inventions, notre savant compatriote a su porter à leur maximum les bienfaits d'une idée mère ; les chronographes de M. du Moncel présentent, en effet, sur ceux de MM. Wheatstone, Breguet et autres, cet immense avantage, qu'ils fournissent des indications continues, et ont leur mécanisme enregistreur combiné à leur mécanisme compteur. Voici en quoi il consiste :

« Une lame métallique faisant saillie est disposée sur l'arbre de couche de la pompe, de telle sorte qu'elle ferme un circuit voltaïque à chaque révolution de l'arbre de couche, et par conséquent après une élévation et un abaissement successifs du piston dans le corps de pompe ; d'où il résulte déjà que, d'un côté, le volume du corps de pompe étant connu, de l'autre le nombre des fermetures successives du circuit étant enregistré, on obtiendra facilement et d'une manière exacte la quantité d'eau fournie en tel espace de temps par la machine hydraulique.

« Voici maintenant comment on constate le nombre de coups de piston :

« Un système d'engrenage, composé de trois roues, agit, par l'intermédiaire d'un crochet d'encliquetage, sous l'in-

fluence d'un électro-aimant ; cet électro-aimant, placé dans le circuit, est lui-même commandé, dans les abaissements successifs de son armature, par le contact qui est disposé sur l'arbre de couche.

« La révolution de la première roue, qui porte 100 dents, correspond à 100 tours de l'arbre ; cette roue engrène au moyen d'un pignon de 10 dents avec la seconde qui a le même nombre de dents que la première, et marque 1,000 après son tour complet ; enfin, la troisième, disposée en étoile et munie de 36 pointes, annonce, lorsque sa révolution est accomplie, que le corps de pompe a été rempli 36,000 fois, c'est-à-dire a fourni la quantité d'eau que peut donner la machine dans une marche constante de douze heures.

« L'axe de chacune de ces roues porte une aiguille qui tourne devant un cadran dont les divisions sont en rapport avec la disposition de la roue qui lui correspond. Voilà pour le compteur.

« Quant à l'enregistreur, il se compose de trois cylindres sur l'un desquels est enroulée en provision une longue bande de papier : cette bande se déroule d'une manière uniforme et en rapport avec le diamètre de l'un des cylindres, sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie.

« Un électro-aimant, dont l'armature porte un levier au bout duquel est fixé un crayon à ressort, est disposé près du premier cylindre. Enfin, un segment de cercle placé sur la seconde roue du compteur vient à chaque révolution complète de cette roue, c'est-à-dire toutes les fois que l'arbre de couche a fait 1,000 tours, fermer un circuit, qui en abaissant l'armature et par suite le crayon, force ce dernier à laisser sur le papier une trace de 3 millimètres.

« La longueur des intervalles blancs, qui existent entre chaque trait, peut servir à apprécier la régularité de la marche de la machine.

« Ce système de chronographe a, comme on le voit, d'après ces détails, le triple avantage : de marquer minute par minute le travail de la machine ; de l'enregistrer environ trois fois par heure, et de prévenir l'ingénieur auquel est confiée la direction de l'établissement, de tout dérangement survenu dans la marche de la machine, soit par la négligence d'un employé, soit par un accident imprévu.

« Ajoutons enfin que le mécanisme d'horlogerie, outre ses attributions premières, a été utilisé pour donner l'heure dans l'établissement. Il a été habilement exécuté par M. Reyer. »

Nous ajouterons, pour compléter cettte description, qu'un marqueur à chiffres a été adapté au mécanisme imprimeur, pour qu'on puisse distinguer facilement à quelle série de tours du moteur appartiennent les marques laissées sur la bande de papier. Ce marqueur se compose de deux étoiles flexibles comme celles que M. Wheatstone a employées pour son enregistreur des observations météorologiques; ces étoiles tournent tangentiellement l'une à l'autre, et horizontalement, de manière à présenter leur point de tangence au-dessus de la bande de papier. L'une de ces étoiles est munie de 10 rayons, l'autre de 20, et chacun de ces rayons porte suivant sa position un chiffre gravé en relief. Comme le mouvement de l'étoile composée de 20 rayons est commandé par celui de l'autre étoile qui réagit sur elle, au moyen d'un cliquetage à sautoir, un rayon de la première étoile saute pour chaque tour complet accompli par la dernière, de telle sorte que tous les nombres depuis 1 jusqu'à 200 peuvent se trouver successivement imprimés sur la bande, si un mécanisme imprimeur exerce son action au point de tangence des deux roues. Voici comment s'effectue cette impression.

L'étoile de 10 rayons porte sur son axe une roue d'échappement mise en mouvement par un petit mécanisme d'horlogerie indépendant, laquelle roue d'échappement est commandée par un encliquetage électro-magnétique. L'élec-

tro-aimant qui met en action cet encliquetage fonctionne sous l'influence d'un interrupteur mis en jeu par une roue intermédiaire reliée au compteur. Cette roue ne fait qu'un tour quand la roue qui provoque les marques simples sur la bande en a fait 10. Il en résulte que de 10 en 10 traits, l'électro-aimant précédent reçoit un courant qui fait avancer d'un rayon la première roue des types et détermine secondairement la chute d'un petit piston qui, en tombant au point de tangence des deux roues à rayons, produit l'impression des chiffres qui s'y trouvent alors placés. Après cette impression, ce piston est remonté par le mécanisme de l'horloge au moyen d'une excentrique,

Quant à l'impression, elle se fait au moyen de papier imprégné d'une couche grasse colorée comme les papiers dont on se sert pour le pantographe. Ce papier est coupé par petites bandes de différentes couleurs collées les unes à la suite des autres, disposé de manière à former une espèce de chaîne sans fin enroulée sur deux petits cylindres. Une roue à rochet commande le mouvement de ces cylindres qui accomplissent une révolution sur eux-mêmes, pendant que la roue aux 20 rayons accomplit un tour entier. Si les feuilles de papier coloré ont précisément en longueur le développement du cylindre moteur, il arrivera forcément que pour chaque série de 200 impressions, la couleur de ces impressions changera, et si l'on connaît dans quel ordre se suivent les couleurs, on pourra immédiatement constater, par la simple inspection des chiffres imprimés sur le chronographe, le numéro d'ordre des traits observés, sans qu'il soit besoin de dérouler la bande de papier. De cette manière on pourra enregistrer et marquer jusqu'à 12 millions de coups de piston, en employant seulement 6 couleurs et les traces fournies se présenteront comme ci-dessous.

200	201	202

Cette partie du mécanisme que j'ai combinée l'année dernière avait été réclamée par la pratique de l'instrument.

ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES.

Nous avons démontré, dans le second volume de notre *Exposé*, l'importance des enregistreurs météorologiques, et nous avons décrit ceux qui avaient été jusque-là imaginés. Depuis deux ans, plusieurs systèmes nouveaux ont été proposés, surtout en vue de simplifier la partie mécanique de ces appareils et de les rendre abordables à toutes les bourses. Parmi ces systèmes, nous citerons ceux de MM. Regnard, Montigny, Hardy et Palmieri.

Enregistreurs de M. Regnard. — On sait que la grande difficulté que présente l'enregistration mécanique des observations météorologiques, sans le secours de l'électricité, est d'obtenir que le simple mouvement d'une colonne mercurielle puisse produire un effet mécanique assez développé non-seulement pour conduire un style traceur, mais encore pour lui faire laisser des traces. M. Wheatstone, comme nous l'avons vu, avait détourné cette difficulté en mettant en fonction, à des instants donnés, un mécanisme d'horlogerie qui se chargeait de faire des traces lorsqu'une action électro-magnétique venait à réagir sur lui, et cette action électro-magnétique était provoquée par un contact électrique entre la colonne mercurielle et un fil de platine abaissé successivement dans les tubes des appareils sous l'influence du mécanisme d'horlogerie lui-même; de telle sorte que c'était par suite de l'avance ou du retard de cette réaction électro-magnétique que les différentes hauteurs de la colonne mercurielle se trouveraient enregistrées. M. Regnard a pensé avec raison que si on employait l'électricité à gouverner la marche d'un style indicateur de manière à lui faire suivre tous les mouvements de la colonne mercurielle des diffé-

rents instruments de la météorologie, le problème serait plus simplement résolu, et dans ce but il a combiné plusieurs systèmes d'appareils que nous allons décrire.

D'abord, pour obtenir qu'un style pût suivre, sous une influence électrique, la marche d'une colonne mercurielle susceptible de monter et de descendre, il fallait résoudre les deux problèmes suivants : 1° faire en sorte qu'une fermeture de courant opérée par le contact avec le mercure du levier porte-style ou d'un fil adapté à ce levier, pût faire avancer ce style dans un sens ; 2° que l'interruption de ce courant pût réagir en sens contraire de l'effet produit primitivement et faire reculer ce même style. M. Regnard a résolu ces deux problèmes de diverses manières, mais en employant toujours *un relais distributeur* réagissant sur un *mécanisme moteur* et tellement disposé que toutes les fermetures de courant opérées à travers le relais eussent pour effet une action mécanique tendant à élever le levier porte-style, et que toutes les interruptions de ce même courant eussent pour effet la descente de ce levier. C'est, comme on le voit, une disposition électro-mécanique analogue à celle que j'ai indiquée pour corriger les effets du foisonnement dans mon baromètre électrique décrit page 407, tome II, de mon *Exposé*, et, pour qu'on puisse bien la comprendre, nous allons l'étudier dans son application au thermométrographe représenté fig. 4, pl. III.

Dans cette figure, AA′ est un thermomètre de la forme que j'ai adoptée pour mon régulateur électro-solaire et mon régulateur de température. BS est le levier porte-style, terminé par une vis sans fin SB′ que commande une *roue-écrou* R, laquelle roue fonctionne sous l'influence du mécanisme moteur dont nous avons parlé précédemment. B′*b* est un fil de platine voyageant à l'intérieur du tube ouvert du thermomètre. Enfin CC′ est un cylindre enregistreur mû, comme tous les appareils de ce genre, par un mécanisme d'horlogerie.

Les figures 5, 6, 7, pl. III, représentent les dispositions diverses du mécanisme moteur de style que M. Regnard a combinées et qu'il peut indifféremment appliquer à ses appareils enregistreurs en les mettant en relation d'une manière ou d'une autre avec le relais V sur lequel réagissent directement ces enregistreurs.

Le mécanisme moteur représenté fig. 5 est mis en action par l'appareil d'horlogerie qui fait mouvoir le cylindre CC′, ou par un appareil spécial à poids ou à ressort. A cet effet, une cheville x, adaptée excentriquement à l'axe de l'un des mobiles, agit sur deux cliquets M, N, exerçant leur effet d'une manière inverse, et dont l'action est commandée par deux électro-aimants E, F. Ces deux cliquets sont, en effet, reliés aux armatures de ces électro-aimants par deux tiges à crochet i, i', et, suivant que ces armatures sont attirées ou éloignées, les cliquets sont mis ou non en prise avec la roue R. Comme, d'un autre côté, l'action des électro-aimants E, F, par suite de leur liaison avec le relais V, qui est alors à double effet, dépend des fermetures ou interruptions de courant provoquées par le fil B′b, fig. 4, il arrive forcément que, tant que le fil B′b n'est pas au-dessus de la surface du mercure, la roue R tourne sous l'influence du cliquet N et tend à le faire sortir du liquide. Mais aussitôt que cette sortie s'est effectuée, le cliquet M, alors mis en jeu, fait tourner la roue R en sens contraire, de manière à provoquer une nouvelle immersion. Le fil B′b, ne pouvant monter ni baisser sans provoquer des réactions contraires, est donc obligé de suivre la marche de la colonne mercurielle, ainsi que le style S, qui peut dès lors appuyer avec une certaine force sur le cylindre CC′, puisque la force qui le met en jeu résulte d'une réaction électro-magnétique.

Le second système de mécanisme moteur combiné par M. Regnard, et représenté fig. 6, est le même, quant au mode de réaction, que celui que nous venons de décrire ; mais, au

lieu de deux électro-aimants E et F, il n'y en a qu'un seul, qui réagit alors sur les cliquets M et N de la roue R par l'intermédiaire d'un losange articulé. Avec cette disposition, le relais V ne doit plus avoir qu'un seul contact, et, suivant que le courant transmis par ce relais est ouvert ou fermé à travers l'électro-aimant E, le cliquet N ou le cliquet M est en prise avec la roue R, par suite d'un effet analogue à celui des cliquets à double impulsion, à losange articulé, que nous avons décrits page 150.

Le troisième système de mécanisme moteur, représenté fig. 7, produit à lui seul les mouvements nécessaires à la marche des cliquets N et M, au moyen d'un rhéotome à balancier de M. Regnard adapté à l'armature même qui porte les cliquets. Ce rhéotome, que nous avons décrit page 144, et qui fonctionne, comme le rhéotome de Neef, sous l'influence d'un courant alternativement interrompu par l'effet même de son jeu, communique aux cliquets N et M un mouvement lent de va-et-vient. Comme ces cliquets, ou plutôt ces crochets d'encliquetage, sont disposés, par rapport à la roue R, de manière à produire des effets contraires, leur action ne peut être effective sur cette roue qu'autant que l'un des deux s'est trouvé préalablement écarté. Or, l'électro-aimant L, en réagissant sur la tige T munie de deux butoirs *i*, *i'*, produit précisément cet effet, et cela de telle manière que, suivant que le courant circule ou ne circule pas à travers son hélice magnétisante, c'est le crochet M ou le crochet N qui réagit sur la roue à rochet R.

Barométrographe. — Dans la description précédente, nous avons suffisamment parlé du thermométrographe pour nous dispenser de lui consacrer un article spécial. Nous allons donc examiner maintenant comment M. Regnard a appliqué les dispositions mécaniques que nous venons de passer en revue au barométrographe, à l'hygrométrographe, à l'anémographe, etc., etc.

La fig. 8, pl. III, représente la partie du barométrographe où se trouvent appliqués les mécanismes. XYZ est un baromètre à siphon dont le bout ouvert du tube communique avec un tube MN fermé par en bas et ouvert par en haut, de telle sorte que le niveau du mercure reste toujours le même en Z et en M. Le fil de platine *f*, qui est fixe, pénètre de 2 centimètres environ dans le tube Z et affleure le niveau du mercure ; la vis micrométrique BB′, sur laquelle doit réagir le mécanisme moteur par l'intermédiaire de la roue R, porte en sa partie inférieure un cylindre bien régulier qui plonge dans le tube MN et peut y pénétrer plus ou moins. Il déplace ainsi un volume de mercure égal à celui de la partie qui est immergée.

Les fils électriques de la petite pile P et de l'électro-aimant du relais V, fig. 4, qui remplissent absolument le même office que dans le thermométrographe, sont attachés d'une part au fil de platine *f*, et d'une autre à la tige BB′ ; de telle sorte que le courant est rompu ou fermé, suivant que le niveau du mercure s'élève ou non jusqu'à l'extrémité du fil *f*. Si le mercure descend au-dessous de ce point parce que la colonne barométrique remonte, la roue R, au moyen de l'un ou l'autre des mécanismes moteurs que nous avons décrits, est embrayée pour faire descendre la tige BB′, jusqu'à ce qu'en refoulant le liquide dans le tube MN, elle ait remplacé le mercure qui a monté dans la colonne barométrique et ramené son niveau au contact du fil *f*. Si le niveau s'élève au-dessus de ce fil *f* parce que la colonne barométrique sera descendue, la roue R est embrayée en sens contraire et la tige BB′ s'élève pour faire place au mercure qui est en trop, jusqu'à ce que le niveau du tube Z ne touche plus le fil de platine. Par un effet rhéotomique semblable à celui qui se produit dans le thermométrographe, le niveau du mercure est donc sans cesse ramené à un point fixe dans les tubes qui remplacent la cuvette des baromètres ordinaires, et

le liquide employé aux variations de la hauteur de la colonne barométrique est sans cesse mesuré par l'immersion plus ou moins grande de la tige BB′, qui suit en sens inverse tous les mouvements de la colonne barométrique.

Si le diamètre du cylindre B était égal au diamètre de la colonne barométrique, l'échelle de graduation serait égale de part et d'autre ; mais si on diminue le diamètre de ce cylindre B, il est immergé dans une plus grande longueur, et l'on peut rendre ainsi les indications du style qu'il conduit aussi sensibles que l'on veut.

Hygrométrographe. — « On pourrait, dit M. Regnard, faire agir la vis micrométrique des appareils précédents sur un petit poids de platine suspendu à l'extrémité d'un cheveu ou de tout autre fil hygrométrique d'une longueur convenable, et l'on construirait ainsi un hygrométrographe dont les dispositions seraient entièrement semblables à celles du thermométrographe décrit précédemment; mais comme pour rendre ces sortes d'instruments plus sensibles, on est obligé de faire agir les fils hygrométriques sur une petite poulie adaptée à l'axe d'une aiguille indicatrice, la disposition de l'enregistreur doit être un peu modifiée.

« La figure 9, pl. III, représente cette nouvelle disposition : *mn* est l'aiguille de l'hygromètre ; R, la roue du mécanisme moteur que l'on connaît. Cette roue, au lieu de réagir comme un écrou sur une vis sans fin, engrène avec une crémaillère AB, qui porte le style S. Elle porte en outre deux appendices de contact *v*, *x*, parfaitement isolés l'un de l'autre, et en rapport l'un avec l'électro-aimant E, l'autre avec l'électro-aimant F. Le circuit de ces électro-aimants est complété par un fil qui met en rapport la pile P avec l'axe de l'aiguille *mn*.

« Lorsque l'aiguille *mn*, dans le mouvement qui lui est donné par l'action hygrométrique, est portée contre le contact *v*, le cliquet M agit sur la roue R, sous l'influence de l'un des mobiles du mécanisme d'horlogerie de l'enregis-

treur comme dans la fig. 9, pl. III, il le fait tourner dans le même sens que l'aiguille jusqu'à ce que celle-ci arrivant à la position qu'elle doit occuper, ce contact cesse. Lorsque l'aiguille revient ensuite dans une direction opposée et rencontre le contact x, le cliquet N devient actif et fait tourner la roue R dans cette même direction jusqu'à ce que le contact cesse également. Ainsi la roue R suit forcément tous les mouvements de l'aiguille et s'arrête avec elle quand celle-ci se tient en équilibre entre les deux contacts, sans toucher ni l'un ni l'autre. »

Anémographe. — « On peut construire d'après le même principe, continue M. Regnard, un appareil qui enregistre les variations les plus délicates de la direction des vents les plus faibles.

« L'axe d'une girouette très-légère et très-sensible tourne librement dans une crapaudine posée sur le pivot supérieur d'une longue tige verticale qui forme l'axe de la roue R, et qui descend jusque dans la chambre où sont placés les appareils enregistreurs. L'extrémité de ce pivot porte un bras sur lequel sont disposés les deux contacts de l'appareil précédent; une forte aiguille plantée sur l'axe de la girouette se place entre ces deux contacts et leur transmet le courant de la pile, comme on l'a vu précédemment, et sous cette influence le mécanisme moteur met en jeu le style. Pour éviter les ruptures qui pourraient être causées par les coups de vent, les contacts sont mobiles et fléchissent à droite ou à gauche, lorsque l'aiguille fixée sur l'axe de la girouette leur donne une impulsion trop vive. Des ressorts les ramènent ensuite dans leur position normale.

« Par cette disposition, la roue R du mécanisme moteur suit donc tous les mouvements de la girouette comme elle avait suivi tous les mouvements de l'aiguille de l'hygromètre, quel que soit d'ailleurs le poids du mécanisme enregistreur et la force nécessaire pour la faire mouvoir.

« La roue R pourrait communiquer son mouvement au style enregistreur au moyen d'une crémaillère comme dans l'hygrométrographe ; mais comme la girouette peut faire plusieurs tours sur elle-même dans le même sens, la crémaillère et la feuille du registre auraient besoin d'être très-longues. Pour éviter cet inconvénient, on peut fixer le style sur une tringle parallèle à l'axe de la roue R, et le faire tourner suivant les mouvements de la girouette autour d'un cylindre qui exécuterait un simple mouvement d'ascension au moyen d'une crémaillère conduite par un appareil chronométrique. »

Nous ne ferons qu'une seule observation à M. Regnard au sujet de ce dernier appareil, c'est que, comme la force du vent est toujours plus forte que la réaction électro-magnétique qui peut être produite, il n'y a aucun avantage à avoir dans un instrument de ce genre une roue R indépendante des mouvements de l'axe de l'indicateur. Dès lors, pourquoi ne pas fixer cette roue à demeure sur l'axe même de la girouette comme dans les anémographes ordinaires ? De cette manière, elle suivrait forcément les mouvements de celle-ci et ne nécessiterait pas l'intervention d'une pile. D'ailleurs, le seul avantage des anémographes électriques sur les anémographes ordinaires, qui est de permettre l'enregistration à distance sans transmissions mécaniques de mouvement, se trouve annihilé dans l'appareil de M. Regnard sans qu'il présente en compensation aucun avantage. Que M. Regnard applique le principe de ses enregistreurs thermométriques, barométriques, etc., à l'enregistration des indications galvanométriques, à la régularisation même des courants voltaïques et de la lumière électrique comme il l'a proposé, rien de mieux ; mais à l'anémographe, c'est un non-sens.

Enregistreurs de M. Montigny. — Le mémoire dans lequel M. Regnard a décrit les appareils précédents, et qu'il m'a directement envoyé, est du mois d'avril 1857, comme le

témoigne le timbre de la poste qui se trouve encore marqué sur la couverture. Ce mémoire a même été en partie imprimé dans le journal *la Science* (nos des 5 et 9 juillet 1857). Or, il se trouve que M. Montigny d'Anvers, dans un mémoire envoyé par lui à l'académie de Bruxelles en décembre 1857, annonce comme de lui une série d'enregistreurs météorologiques tout à fait analogues à ceux que nous venons de décrire. La priorité de l'invention appartient donc incontestablement à M. Regnard; mais ce qu'il y a de plus curieux dans cette communication de M. Montigny, c'est que, d'après elle, ce savant semble complétement ignorer qu'il y ait eu des enregistreurs électro-météorologiques construits avant les siens. Ce qui prouve clairement qu'il n'a lu ni le *Traité de télégraphie* de M. l'abbé Moigno, ni le *Traité de météorologie* de Kaemtz (édition anglaise), ni mon *Exposé des applications de l'électricité*, ni aucun des ouvrages de télégraphie nouveaux. On voit par là combien les savants et les inventeurs ont tort de ne pas se mettre au courant des progrès des sciences, car ils perdent ainsi gratuitement les bénéfices de leurs travaux.

On devinera sans peine les dispositions des appareils de M. Montigny et on saisira facilement leur analogie avec ceux de M. Regnard, quand nous aurons dit qu'avec le système du savant belge on apprécie les variations de pression et de température atmosphériques *par les déplacements qu'il faut faire subir au baromètre et au thermomètre dans le sens de la verticale pour ramener le sommet de la colonne mercurielle à une ligne de repère fixe quand les variations de la pression et la température l'en ont écartée.*

En principe, cette manière d'apprécier les hauteurs barométriques thermométriques n'appartient pas, il est vrai, à M. Regnard, puisque M. Masson et moi l'avons indiquée en novembre 1856 [1]; mais ce qui lui appartient, c'est l'enregis-

1. Voir la description du baromètre électrique, page 407, tome II de l'*Exposé*.

tration directe des indications barométriques, thermométriques, etc., suivant cette méthode d'appréciation. Or, cette enregistration, dans les appareils de M. Montigny, s'effectue directement par courbes au crayon comme dans les appareils de M. Regnard, et il n'y a de différence entre eux que dans les mécanismes appelés à faire réagir le style.

Barométrographe de M. Hardy. — Le barométrographe de M. Hardy, que nous représentons fig. 15, pl. II, n'est autre chose qu'un baromètre à cadran ordinaire, auquel a été adapté un système d'enregistration électrique. Cet appareil, très-bien construit, fonctionne d'une manière très-satisfaisante à l'observatoire météorologique de la Havane, où il a été installé depuis quelques mois par M. Poëy.

Dans la fig. 15, le tube du baromètre se distingue en ABC, il est plus gros que celui des baromètres ordinaires afin de supporter un plus large flotteur et d'éviter les causes d'irrégularités que l'on remarque souvent dans ces sortes d'instruments. En D s'aperçoit le cylindre enregistreur qui tourne derrière la planche support de l'appareil, et devant une ouverture allongée *ab* le long de laquelle se meut le style enregistreur *i*. Ce cylindre est mis en mouvement par l'horloge H, qui réagit toutes les minutes sur un double interrupteur de courant. Le style enregistreur *i* est porté par une règle en aluminium *a'b'* mobile entre 4 galets (qui lui servent de guides) et suspendue à l'extrémité d'un fil qui s'enroule sur une grande poulie E ; un autre fil adapté à une poulie plus petite placée sur le même axe et qui correspond au flotteur du baromètre, transmet à la règle d'aluminium les différents mouvements accomplis par ce flotteur. Seulement ces mouvements se trouvent amplifiés par suite de l'intervention de la poulie E. A portée de la règle d'aluminium, se trouve fixé un électro-aimant M, dont l'armature se termine par un levier à marteau L, qui peut atteindre la règle AB et provoquer en la frappant une marque de la part du style. A côté de cet électro-aimant, s'en trouve un autre N, dont l'armature est

disposée en rhéotome vibrant. Une tige garnie d'une enveloppe élastique termine cette dernière armature, et par son intermédiaire réagit sur le tube du baromètre en lui imprimant une série de petites secousses qui amènent le flotteur à sa véritable ligne de flottaison. Ces petites secousses représentent celles qu'on applique avec le doigt sur les baromètres à cadran ordinaires, quand on veut s'assurer de leur tendance à la hausse ou à la baisse. C'est pour mettre en action les deux électro-aimants dont il vient d'être question, qu'un double interrupteur chronométrique a dû être adapté àl'horloge H ; mais ce double interrupteur est disposé de manière que l'électro-aimant N soit animé par le courant avant l'électro-aimant M, afin que le flotteur soit bien amené à sa position avant chaque pointage du style.

Les fonctions de cet appareil sont du reste très-simples ; toutes les minutes l'horloge H ferme un courant à travers les deux électro-aimants M et N, et un coup est frappé sur la règle d'aluminium; ce coup est transmis par la règle au style qui, à quelque hauteur qu'il soit, laisse son empreinte sur le papier dont est revêtu le cylindre D; celui-ci étant animé d'une très-petite vitesse, les points fournis par le style *i* viennent se placer les uns à côté des autres, et il en résulte sur le papier une courbe parfaitement continue et nette dont les abscisses représentent les différents instants du jour, et les ordonnées les différentes hauteurs barométriques. Pour l'étude plus facile de ces courbes, chaque feuille porte gravées en traits fins deux séries de lignes croisées à angle droit, dont les unes sont espacées de millimètre en millimètre et dont les autres sont suffisamment éloignées pour que leur intervalle représente une durée de cinq minutes. Ces différentes séries de lignes sont séparées de 10 en 10 dans un sens et de 12 en 12 dans l'autre, avec indications correspondantes pour qu'on puisse voir immédiatement et sans chercher, la hauteur barométrique à tel instant du jour qu'il convient. Des points de

repère permettent d'ailleurs de placer la feuille sur le cylindre avec une exactitude suffisamment rigoureuse pour ce genre d'observations. Nous ajouterons encore que l'expérience a démontré que les courbes fournies par ce genre d'instrument sont plus facilement visibles avec un style muni d'un crayon rouge qu'avec un style armé d'un crayon noir.

Seismographe électrique de M. Palmieri. — Depuis quelques années on a cherché à établir des appareils propres à enregistrer les secousses de tremblement de terre ; mais les résultats fournis jusqu'ici par ces appareils ont été tellement fugitifs, qu'il serait peut-être imprudent de s'y fier pour des déductions scientifiques. M. Palmieri semble avoir résolu d'une manière beaucoup plus complète la question dans un appareil qu'il a fait depuis peu installer à l'observatoire du Vésuve, et auquel il a donné le nom de *Seismographe électromagnétique*. Il a été conduit à l'établissement de cet appareil par la fréquence des secousses de petits tremblements qui se font journellement sentir dans les environs du Vésuve, et qui présentent la particularité de diminuer rapidement d'intensité avec la distance du volcan où ils prennent naissance. Beaucoup de ces commotions passent inaperçues, et cependant il y a un grand intérêt à les enregistrer exactement, avec l'indication de l'instant précis auquel elles commencent.

L'appareil de M. Palmieri se compose au fond de deux appareils distincts, l'un pour les tremblements de terre verticaux, l'autre pour les tremblements de terre horizontaux ou ondulatoires.

Pour se faire une idée exacte du premier appareil, il faut se représenter une hélice de fil de laiton suspendue à l'extrémité d'un ressort et portant à sa partie inférieure un cône de cuivre ou de platine, situé à une très-petite distance au-dessus d'une surface de mercure placé dans une petite cuvette en fer; il est évident que, s'il survient un tremblement de terre vertical, l'extrémité du cône métallique

arrivera en contact avec le mercure par l'effet de l'élasticité du ressort et de l'hélice. Si, d'un autre côté, l'hélice et le mercure sont en communication réciproquement avec les deux pôles d'une pile voltaïque, le courant pourra être transmis à l'instant où commence le tremblement de terre. En introduisant dans le circuit un électro-aimant dont l'armature est fixée à un bras de levier, on conçoit qu'on peut à ce même instant arrêter une horloge faisant partie de l'appareil et indiquant le jour du mois, l'heure, la minute et la seconde, et faire également sonner un timbre. L'addition du timbre présente, outre l'avantage de donner l'avertissement, celui d'empêcher qu'on attribue à un tremblement de terre un arrêt accidentel de l'horloge. On aurait pu, au lieu de se servir d'une horloge en mouvement qui s'arrête, en employer une en repos que le tremblement de terre aurait mise en mouvement; M. Palmieri estime le premier moyen préférable quand il s'agit d'indiquer le commencement du tremblement de terre; il compte se servir du second pour obtenir l'indication des retours en sens contraire.

Le second appareil, celui destiné à enregistrer les tremblements de terre ondulatoires, se compose de quatre tubes de verre recourbés en forme de U et contenant du mercure; l'un d'eux est dirigé du sud au nord, un autre de l'est à l'ouest; les deux autres ont des directions intermédiaires. Il est évident qu'une secousse ondulatoire fera osciller un peu le mercure dans un ou deux de ces tubes; par conséquent, si on a fait plonger dans l'une des branches de chacun des quatre tubes un fil de fer, et que dans l'autre on ait disposé un fil de platine qui soit à une très-petite distance de la surface du mercure, sans la toucher, le mercure, en oscillant au moment de la secousse, viendra en contact avec le platine, et un courant électrique, trouvant son circuit fermé, arrêtera une horloge et fera sonner un timbre. On pourra même, par l'arrêt de l'horloge, reconnaître que le tremblement de

erre était ondulatoire, et déterminer en même temps quelle était la direction approximative de l'oscillation; en effet, chaque tube porte un mécanisme semblable à celui du baromètre à cadran, avec la seule différence que le contrepoids étant un peu plus pesant que le frotteur, l'index, une fois déplacé, ne revient pas au zéro de la graduation. Le déplacement de l'index indique donc quel est celui ou quels sont ceux des quatre tubes qui ont éprouvé un mouvement oscillatoire; et comme ce déplacement est permanent, leur amplitude permet, jusqu'à un certain point, de mesurer celle de l'oscillation. On peut rendre très-petite la distance entre la surface du mercure et l'extrémité de l'hélice et des fils de platine, pourvu qu'on ait un système de compensation qui permette à la distance d'être constante malgré les variations de température[1]; de cette manière, l'appareil acquiert une grande sensibilité et peut accuser les secousses les plus légères.

Anémographe électro-mécanique à indications combinées de M. Th. Du Moncel. — Lorsqu'on a à sa disposition une tour ou un belvédère où l'on peut installer une cabane appropriée exclusivement à l'usage d'observatoire météorologique, l'anémographe le plus commode, le plus simple et en même temps le plus solide, est celui que nous représentons ci-dessous (fig. 59), et qui peut être combiné avantageusement avec mon anémographe électrique, décrit dans le 2e volume de mon *Exposé*[2].

Cet appareil consiste dans une girouette ou tout autre système capable de fournir la direction du vent, dont l'axe réagit sur un système mécanique enregistreur et sur un pluvio-

1. Cette partie de l'appareil de M. Palmieri est analogue au système que j'ai imaginé en 1855 pour mon régulateur électro-solaire.

2. Cet anémographe fonctionne depuis quatre ans à l'observatoire que j'ai installé chez moi, à Lebisey, et il n'a pas encore exigé de réparations sérieuses depuis ce temps.

mètre distributeur. Cet axe est creux (en tube Gandillot), et, au lieu de pivoter sur pointe, comme dans les autres anémographes, il tourne sur une espèce de plate-forme à roulette CC analogue à celles sur lesquelles on tourne les wagons

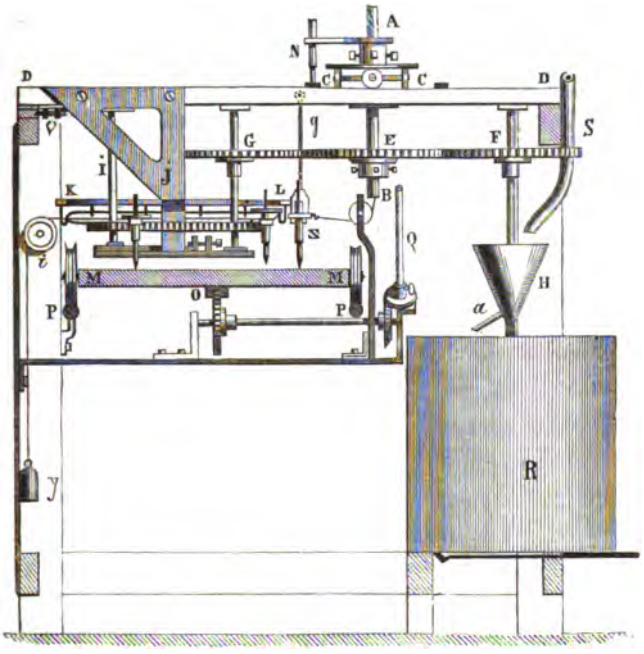


Fig. 59.

sur les chemins de fer; seulement, pour éviter autant que possible la dureté des frottements, le trou pratiqué à l'intérieur de la planche DD, et à travers lequel passe cet axe, est muni de trois petites roulettes contre lesquelles celui-ci appuie toujours. De cette manière, la partie inférieure B de l'axe de la girouette est complétement dégagée et peut laisser passer à travers le tube qui le compose une chaîne dont nous verrons à l'instant la fonction.

A la partie inférieure de ce même axe AC se trouve adaptée une roue E engrenant avec deux autres roues G et F, exactement de même diamètre et montées sur des axes parallèles. L'axe de la roue F porte un entonnoir H, dont le tuyau de déversement peut distribuer l'eau du pluviomètre dans différentes cases pratiquées dans le récipient cylindrique R. L'axe de la roue G porte, de son côté, une roue de petit diamètre qui a sa répétition sur l'axe I, et sur laquelle vient s'enrouler une chaîne articulée à la Vaucanson. Le support inférieur de ces deux axes est porté par deux montants en fonte JJ′ fixés à la planche DD, et se trouve tellement disposé qu'en tournant une petite vis que l'on distingue aisément sur la figure, on peut éloigner ou rapprocher l'axe I de l'axe G. Afin de maintenir le parallélisme des axes, une seconde vis *v* est adaptée à un système de coussinet qui maintient supérieurement l'axe I.

Le système des deux roues sur lesquelles s'engrène la

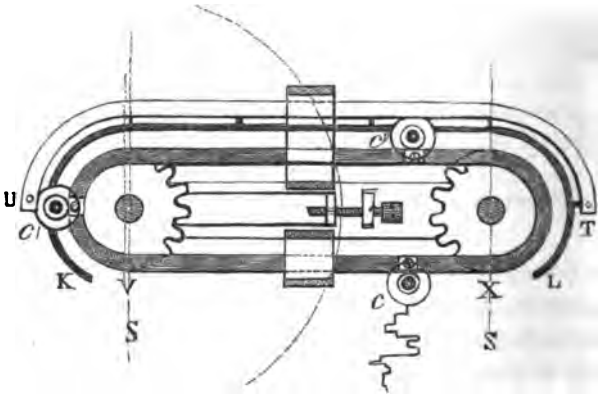


Fig. 60.

chaîne de Vaucanson est représenté vu en plan dans la figure 60.

La distance de l'axe I à l'axe G n'est pas indifférente ; elle doit être telle que la partie droite de la chaîne de Vaucanson de X en V, c'est-à-dire depuis les deux points de tangence de la ligne extérieure de cette chaîne avec les deux roues, soit égale au développement de la circonférence de l'une de ces roues. Il en résulte que la longueur totale de la chaîne est égale à trois fois le développement de cette circonférence ; par conséquent, en fixant sur la chaîne aux trois tiers de sa longueur des portecrayons *c*, *c'*, *c''*, leur distance réciproque représentera le champ complet de la rose des vents. En effet, la roue G étant de même diamètre que la roue E, et un tour de celle-ci correspondant à un tour complet de la girouette, il en résulte qu'un tour des petites roues sur lesquelles est engrenée la chaîne de Vaucanson correspond également à un tour complet de la girouette. Si donc, par un mécanisme que nous expliquerons à l'instant, on fait en sorte qu'un seul des crayons marque à la fois de X en V, on pourra voir, par la hauteur de la trace dans l'intervalle XV, la véritable direction du vent.

Pour obtenir qu'un seul des crayons trace à la fois, il suffit de disposer circulairement autour de la chaîne de Vaucanson une rampe KL, sur laquelle les têtes circulaires *c*, *c'*, *c''* des portecrayons venant à s'engager, se trouvent par ce seul fait soulevées ; c'est précisément le cas des portecrayons *c'*, *c''* (fig. 60). Dans nos figures, la rampe paraît double, parce que, devant être dégagée à sa partie supérieure, elle doit être forcément soutenue par le dessous, et c'est le support circulaire où sont fixés les points d'appui de cette rampe que nous avons représenté en TU. Le support est lui-même fixé sur les montants en fonte JJ (fig. 59). Avec cette disposition, on comprend donc facilement qu'aussitôt après que les portecrayons ont quitté les points X et V (fig. 60), ils se trouvent soulevés, et dès lors ne fournissent plus de traces du côté opposé à XV.

On pourrait croire qu'avec une simple crémaillère portant un crayon et engrenant avec la roue G (fig. 59), le problème pourrait être résolu plus simplement; mais si on réfléchit que souvent la girouette accomplit plusieurs tours sur elle-même dans un même sens, et que, dans ce cas, la crémaillère, une fois sortie de son champ, ne peut plus y rentrer que par l'effet d'un mouvement rétrograde, on comprendra la nécessité de la chaîne de Vaucanson et des trois crayons. Avec cette disposition, en effet, si la girouette accomplit plusieurs tours sur elle-même, un crayon succède toujours à l'autre dans le champ des indications.

La partie de l'instrument que nous venons d'étudier est celle qui est en rapport direct avec la girouette, mais avec cette seule disposition les indications se superposeraient de X en V (fig. 60), et ne seraient d'ailleurs pas reliées au temps. Pour résoudre ce problème, il m'a suffi de disposer au-dessous du système précédent une longue planche MM (fig. 59), qu'on voit en coupe transversale sur notre dessin, et qui est mobile au moyen de quatre roulettes à gorge, sur un chemin de fer dont les rails cylindriques se voient en coupe transversale en PP. Sous cette planche est fixée une longue crémaillère O, également vue en coupe, et avec laquelle s'engrène une roue qui reçoit son mouvement d'une horloge placée en un des coins supérieurs du bâti de l'appareil, par l'intermédiaire de deux roues d'angle, dont l'une, montée sur l'axe incliné Q, peut être repoussée, afin qu'on puisse désengrener le système. Le bouton dont est munie son assiette sert à cette manœuvre. Les dimensions des roues sont calculées de manière à faire avancer la planche MM d'une longueur déterminée en vingt-quatre heures. Dans mon instrument, cette longueur est de $1^m,20$. Maintenant, le jeu de cet appareil se comprend aisément : sous l'influence du vent, l'un des portecrayons c, c', c'' prend des positions différentes sur la feuille de papier placée sur la planche MM; mais, tandis

qu'il effectue ses évolutions, cette planche MM avance sous l'influence de l'horloge, de telle sorte que les traces laissées sur la feuille de papier se rapprochent des courbes que nous avons indiquées en *c*, et dans lesquelles la longueur des traits représente la durée du vent, tandis que la position indique la nature du vent.

La partie du mécanisme de l'instrument qui doit enregistrer les différentes phases de la vitesse du vent consiste dans un portecrayon Z (fig. 59) adapté à l'extrémité d'une longue tige articulée à l'un des points opposés du bâti de l'appareil, et sur lequel réagit d'abord la chaîne qui sort par le tube de l'axe de la girouette, et en second lieu le contre-poids *y*, qui exerce son effet par l'intermédiaire d'une poulie *i*, en sens contraire de la chaîne. Une tige-support *g* maintient horizontale la tige du portecrayon Z, et la chaîne elle-même est fixée à une plaque articulée transversalement au-dessus de la girouette. Cette plaque, de petite dimension relativement à celle-ci, constitue l'anémomètre proprement dit. Plus le vent est fort, plus elle s'incline; et comme sa surface décroît comme les cosinus des angles d'écartement, il est facile de préciser le degré de force en rapport avec les différentes longueurs de chaîne qui se trouvent tirées, et par suite avec les différentes longueurs de traits marqués sur le papier. Ces traits sont, il est vrai, des arcs de cercle; mais, comme la tige qui supporte le crayon est très-longue, on peut les considérer comme droits en raison de leur peu de longueur.

La partie de l'instrument qui réagit sur le pluviomètre n'est autre chose, comme nous l'avons vu, qu'un entonnoir H, qui, suivant la direction du vent, verse dans l'une ou l'autre des huit cases orientées de la bassine cylindrique R, la quantité de pluie fournie par le pluviomètre. Le tuyau de ce pluviomètre se voit en S. Chacun des compartiments de la bassine correspondant à un robinet spécial, il est facile, en laissant écouler l'eau tombée dans une éprouvette graduée,

de connaître la hauteur d'eau correspondant à tel ou tel vent.

Pour le relevé des observations qui se font toutes les vingt-quatre heures, voici comment je m'y prends :

D'abord, par économie, j'emploie du papier gris de tenture, dont chaque rouleau, de 12 mètres, coûte environ 20 centimes. Je fixe un bout de ce rouleau sur le plancher MM avec des punaises, et je laisse le reste du papier traîner par terre. Je taille les crayons et je laisse l'appareil fonctionner. Au bout de 24 heures, je repousse le papier de 1,20 en écrivant dessus la date de l'observation, et je le replace de nouveau au moyen des punaises. Quand tout le rouleau est tracé, je le retourne à l'envers, de sorte qu'un rouleau de 20 centimètres me dure à peu près 15 jours.

La discussion des traces laissées par l'appareil est facile : il suffit d'appliquer sur la feuille tracée une feuille de papier à calquer de la longueur de la planche, et divisée de cinq en cinq minutes et en seize directions de vents. Cette double division donne une série de petits carreaux qui ont tous une position connue et déterminée, et, suivant que la courbe correspond à tel ou tel de ces carreaux, ou occupe telle ou telle longueur au milieu d'eux, on peut savoir immédiatement la durée des différents vents qui se sont succédé dans les 24 heures.

Quant aux traces correspondantes à la force du vent, le papier à calquer est rayé dans la partie correspondante à ces traces en quatre divisions espacées inégalement d'après les angles d'écartement de l'anémomètre, correspondant à des forces de vent double, triple, quadruple du vent initial, que j'ai choisi léger. Cette graduation peut se faire au moyen d'un anémomètre à moulinet, celui de M. Robinson, par exemple. Ces expériences étant une fois faites servent pour toutes les observations ultérieures, et permettent de ramener les indications fournies aux quatre appellations suivantes : vent léger, vent fort, vent très-fort, tempête.

Sans doute, ce système n'est pas bien rigoureux ; mais, en raison de sa simplicité, il fournit peut-être en somme des indications plus certaines que les anémomètres à moulinet. Néanmoins, j'ai combiné un système de ce dernier genre pour être approprié à mon instrument, et qui est susceptible de fournir des courbes. Pour obtenir ce résultat, je décompose d'abord et retarde suffisamment la vitesse du moulinet pour ramener son mouvement à l'intérieur de la cabane où est placé l'anémographe. Là, je le décompose de nouveau, de manière à entraîner perpendiculairement au chariot enregistreur MM (fig. 59), une crémaillère portant un crayon. Sous l'influence du moulinet, le crayon s'avance donc sur le chariot ; mais comme celui-ci est entraîné lui-même, ainsi que nous l'avons vu, la ligne décrite, au lieu d'être transversale sur la feuille de papier, est plus ou moins inclinée diagonalement, suivant la vitesse dont est animé le moulinet.

Si la crémaillère était assez longue et la feuille de papier suffisamment large, cette ligne diagonale n'aurait pas de fin, et représenterait des courbures différentes qui seraient bien en rapport avec l'intensité du vent ; mais cette manière d'opérer serait impraticable, et, pour la faciliter, j'adapte devant l'axe du pignon moteur de la crémaillère un mouvement de pendule dont la roue de compte de la sonnerie est remplacée par une roue à cames, et dont le déclanchement, au lieu de s'opérer à toutes les heures et à toutes les demi-heures, s'effectue toutes les cinq minutes. Cette roue à cames, en rencontrant le pignon de la crémaillère, peut le repousser, et par suite désengrener celle-ci : alors un contre-poids ramène la crémaillère à son point de dépar initial.

On conçoit alors que les traits que l'on obtient sont des jambages plus ou moins allongés, dont les inflexions représentent les variations du vent pendant les cinq minutes, et

dont les sommités anguleuses représentent les différents points de la courbe cherchée.

En météorologie, ce ne sont pas toujours les indications précises de l'azimut de la rose des vents, selon lequel chaque vent a soufflé, qui sont les plus importantes pour déduire des lois ; c'est le plus souvent, comme nous l'avons dit plusieurs fois, un ensemble d'observations se rapportant aux huit vents principaux. Or, les courbes fournies par l'instrument précédent sont tellement capricieuses, tellement variées, qu'il serait difficile d'en déduire des chiffres exacts. Dans ce cas, mon anémographe électrique à compteurs peut être employé avec avantage, et pour l'adapter à l'appareil précédent, il suffit de fixer à l'axe AB (fig. 59) de la girouette un frotteur à piston N appuyant sur une circonférence de cuivre divisée en huit secteurs. Je ne reviendrai pas ici sur la description de mon anémographe électrique, dont nous avons longuement parlé dans notre deuxième volume ; il nous suffira de rappeler qu'au moyen de ses calculateurs, tous les instants pendant lesquels chaque vent a soufflé dans une même direction se trouvent totalisés, et que le nombre de kilomètres parcourus par chaque vent dans une même direction et dans un temps donné se trouvent également inscrits.

Traducteur électrique des courbes anémométriques de M. Th. du Moncel. — Quand on veut traduire en chiffres les courbes fournies par les anémomètres ordinaires auxquels n'a pas été adjoint l'anémomètre électrique, ainsi que nous l'avons vu précédemment, on peut employer un système de traducteur électrique qui opère infiniment plus rapidement qu'on ne le ferait en employant le système à repère calqué, que nous avons décrit plus haut.

Ce système consiste dans un appareil identiquement semblable au mécanisme compteur de mon anémographe électrique (fig. 61), sur lequel réagit un système de commutateur que je vais décrire et qui peut être mis en mouve-

ment, soit à la main, soit par un mécanisme d'horlogerie.

Ce commutateur consiste d'abord dans huit ressorts recourbés en col de cygne appuyant sur l'un des cylindres d'une espèce de laminoir adapté à l'appareil comme le mé-

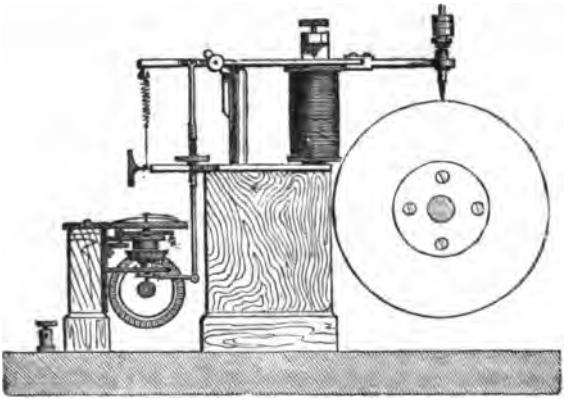


Fig. 61.

canisme entraîneur de la bande de papier dans les télégraphes Morse. Ce cylindre doit avoir une longueur correspondante à la largeur de la feuille tracée et se terminer par deux repères pour guider celle-ci dans son défilement. L'une des extrémités de l'axe de ce cylindre porte une manivelle, l'autre un pignon qui engrène avec une roue reliée au mécanisme calculateur, dont nous avons parlé, par une chaîne d'engrenage et une poulie à gorge découpée. Le diamètre de cette poulie est calculé de manière que l'arbre horizontal du calculateur fasse six tours pour un défilement de la feuille tracée correspondant à douze heures d'indications.

Quant aux ressorts frotteurs eux-mêmes, ils se terminent chacun par une palette de cuivre dont la largeur est égale à une division de l'aire des vents correspondante sur le papier à un angle de 45°, et toutes ces palettes sont rangées les

unes à la suite des autres sur une ligne droite, sans être pourtant en contact métallique. Enfin, en avant de cette espèce de râteau se trouve une sorte de balai métallique qui appuie également sur le papier et qui se trouve directement en rapport avec l'un des pôles d'une pile dont l'autre pôle correspond aux différents ressorts dont nous venons de parler, par l'intermédiaire des huit électro-aimants du calculateur.

Pour faire fonctionner cet appareil, il suffit de passer, avec une plume, de l'encre métallique sur les différentes traces au crayon fournies par l'anémomètre, et de placer la feuille de papier sur le laminoir de l'instrument, de manière que le commencement de chaque relevé d'indications corresponde à un point de repère tracé sur le cylindre et à la ligne formée par les frotteurs. Sous l'influence du double contact établi entre la trace métallique du papier, et le balai frotteur d'une part, et entre cette même trace et l'un des frotteurs du râteau de l'autre, le courant se trouve fermé à travers l'un ou l'autre des électro-aimants du calculateur, et la minuterie correspondante se trouve engrenée. On tourne alors le laminoir; la feuille se trouve entraînée, et le calculateur mis en même temps en mouvement fait marcher successivement celles des minuteries qui se trouvent engrenées par suite du passage de la trace métallique sous l'un ou l'autre des frotteurs en correspondance électrique avec elles. Comme la rotation des aiguilles est en rapport avec la longueur de papier défilée, laquelle longueur a été reliée à la marche du temps d'une manière immuable, il arrive que tous les instants pendant lesquels le vent a soufflé dans une même direction se trouvent additionnés comme dans mon anémographe électrique, et cette addition peut être faite en quelques instants pour un mois entier.

Quant aux indications relatives à la force du vent, leur calcul dépend du genre d'annotation qui a été produit. Si ce

sont des courbes fournies par un moulinet, comme je l'ai indiqué dans l'anémographe précédent, ou des traces fournies par l'anémomètre à plaque, on circonscrit ces traces avec de l'encre métallique, et on place dans le champ de ces traces quatre ou cinq frotteurs analogues aux précédents qui se trouvent reliés avec des minuteries spéciales. Alors on obtient la somme des instants pendant lesquels ont soufflé les vents dont la force correspond aux désignations : *vent modéré, vent fort, vent très-fort, tempête, calme.* Si les traces produites sont des traits correspondant à un certain nombre de tours du moulinet anémométrique, ces traits sont reproduits à l'encre métallique, et des frotteurs en forme de fourche dont les branches sont isolées, inscrivent sur un compteur le nombre de ces traits. Dans ce cas, cependant, il est plus simple de les compter.

ENREGISTREURS ÉLECTRIQUES DIVERS.

Enregistreur électro-physiologique de M. Boeck. — Nous empruntons au Traité de physique de M. Pouillet la description suivante de ces appareils qui sont remarquables autant par leur nouveauté que par les résultats qu'ils ont fournis.

« Depuis quelques années, dit M. Pouillet, les physiologistes ont fait des recherches d'un grand intérêt sur plusieurs phénomènes de la vie organique dont on peut aujourd'hui commencer l'étude, grâce aux découvertes récentes de l'électromagnétisme. M. Helmholtz, de Berlin, est entré des premiers dans cette nouvelle carrière, et dans les beaux mémoires qu'il a publiés depuis 1850, on peut voir qu'il est devenu possible de résoudre, par son exemple, des questions telles que celle-ci :

« Déterminer le temps qui s'écoule entre l'excitation d'un nerf et le commencement de la contraction musculaire qui en est la suite ;

« Mesurer la durée de la contraction elle-même, et tracer la courbe des phases suivant lesquelles elle se développe et s'affaiblit ;

« Apprécier le temps qu'une cxcitation donnée met à se propager jusqu'au muscle, suivant les points plus ou moins éloignés du nerf où elle a été produite ;

« Trouver le temps qui s'écoule entre l'instant où un corps nous touche, où la lumière frappe l'œil, où le son frappe l'oreille et l'instant où, par la pression du doigt sur une touche, nous pouvons marquer à l'extérieur que la sensation est perçue.

« Dans la plupart de ses recherches, M. Helmholtz a mesuré le temps, qui se compte ici par millièmes de seconde, en appliquant le principe que j'ai fait connaître en 1844 (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*), et qui est décrit dans le 2e volume de l'*Exposé*, page 340.

« Les appareils de M. Helmholtz ne me sont connus que par les descriptions qui se trouvent dans les traductions de ses mémoires ; mais M. Boeck, professeur de physiologie à la faculté de médecine de Christiania, a imaginé récemment un appareil qui a précisément pour objet des recherches analogues ; il l'a présenté à l'Académie des sciences (*Comptes rendus de l'Acad.*, août 1855), sous le nom de *Kymographion* perfectionné ; j'essaierai d'en donner ici une esquisse, parce que j'ai eu l'avantage de voir avec mes illustres confrères de l'Académie, MM. Rayer et Bernard, les expériences très-intéressantes de M. Boeck. Un mouvement d'horlogerie très-précis fait tourner autour d'un axe vertical un tambour de métal, parfaitement cylindrique, de 15 à 20 centimètres de hauteur sur 12 centimètres de diamètre. Une petite portion seulement de ce tambour est représentée en *a* (fig. 62) ; la vitesse de rotation est toujours uniforme, mais elle peut être à volonté grande ou petite, suivant la nature des expériences ; il est destiné à recevoir la trace des phéno-

mènes que l'on étudie ; pour cela il est revêtu d'une feuille de papier mince, ferme, bien glacé, dont la surface a été couverte d'une couche de noir de fumée au-dessus d'une lampe où brule un mélange de parties égales d'alcool et d'es-

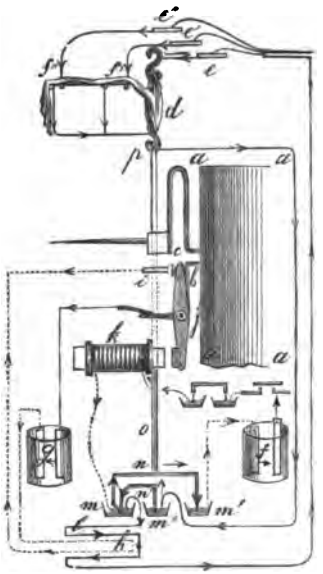


Fig. 62.

sence de térébenthine. Les plumes qui écrivent, ou plutôt les burins qui gravent sur le papier enfumé, sont des pointes fines de verre, *b* et *c*, rigides et cependant élastiques par la forme qu'on leur donne ; en général il y en a deux, chargées de marquer des choses ou des époques différentes.

« La fig. 62 représente seulement les expériences que l'on peut faire sur le muscle *d* d'une grenouille, soit en faisant passer le courant d'induction par le muscle lui-même (disposition *e*), soit en faisant passer par les longueurs *f'* ou *f''* du

nerf (dispositions e' ou e''). Voici à cet effet l'arrangement des courants : on emploie deux batteries distinctes, f et g, (le mot batterie ne veut pas dire que les courants sont très-forts; il est employé ici d'une manière générale, même pour désigner un seul élément très-faible) ; le circuit de la batterie g vient passer dans une bobine h, qui ne contient pas de fer doux ; c'est là que le courant devient courant inducteur, parce qu'il agit, à chaque fermeture et à chaque rupture, sur la bobine l, qui enveloppe la première ; la fermeture se fait en i, à l'instant où l'armature j de l'électro-aimant k se met en repos ; la rupture se fait au même point i, à l'instant où l'armature j se met en prise. Le circuit de la batterie f va former la bobine de l'électro-aimant k; en même temps il aboutit aux deux petites capsules pleines de mercure m, m', par conséquent il y a fermeture ou rupture, suivant que le fil mobile n plonge ou ne plonge pas dans m, et m' ; la troisième capsule m'' est pareille à m, m', elle reçoit l'une des extrémités du fil de la bobine d'induction l, après qu'il a été porter le courant dans le muscle ou dans les nerfs ; la capsule m reçoit l'autre extrémité du fil de la bobine ; ainsi le circuit induit est fermé ou rompu, suivant que le fil mobile n plonge ou ne plonge pas dans les capsules m, m'. Les deux fils mobiles n, n' n'en font qu'un, qui est replié comme l'indique la figure ; leur ensemble est attaché à la tige de verre mobile et verticale op, qui est suspendue à la partie inférieure du muscle d; cette tige porte la plume c, et c'est par cet arrangement que celle-ci écrit sur le tambour toutes les variations que le muscle éprouve dans sa longueur. Quand une expérience est terminée, on ôte le papier ; on applique sur sa face blanche un vernis qui fixe le noir de fumée, et, ce qui est un avantage considérable du Kymographion de M. Boeck, on a aussi la gravure immédiate de l'impression des lignes que trace la plume sous les impulsions du muscle.

« Il nous reste à dire comment s'établit la circulation des

courants. L'expérience étant préparée pour l'une des trois dispositions que représente la figure, on ferme le circuit de la batterie *g*, on laisse ouvert le circuit de la batterie *f*; seulement il y a, sous la main de l'observateur, une touche sur laquelle il n'y a plus qu'à poser le doigt pour fermer le circuit. La tige *op* et les poids qui la chargent (ils peuvent aller en somme jusqu'à 300 grammes) ayant pris leur équilibre sous l'allongement naturel du muscle M, on élève, par un mécanisme disposé à cet effet, la tablette qui porte les trois capsules *m*, *m'*, *m''*, de manière que les fils *n*, *n'*, touchent la surface de mercure : pendant ce temps-là, le tambour a pris sa vitesse uniforme, la plume *c* est mise en place, et décrirait une circonférence entière, ou même plusieurs fois la même circonférence, si l'électricité ne venait pas produire ses effets. Ces préparatifs achevés, on ferme le circuit de la batterie *f*; bientôt l'électro-aimant *k* attire son armature *j*; cet instant est marqué par la plume *b*; au même moment, il y a rupture du circuit de *g*, et simultanément dans la bobine *l* production du courant induit qui vient agir sur le muscle; la contraction commence, la tige *po* est soulevée, et avec elle la plume *e*, qui marque ainsi cette première origine de la contraction en quittant sa circonférence pour marquer un peu plus haut le passage du point correspondant du tambour. A une certaine période de cette rapide rétraction, les fils *n*, *n'*, sortent des capsules *m*, *m'*, *m''*; le circuit induit est rompu; il en est de même du circuit de *f*, l'armature *j* ne tarde pas à se mettre en repos; à cet instant, la plume *b* cesse de marquer, et le circuit de *g* se ferme de nouveau; le courant inverse qu'il produit dans la bobine *l* s'y éteint, parce que les capsules *m*, *m'*, ne communiquent plus.

« Rien ne marque ici la durée du courant induit qui a déterminé la contraction du muscle *d*; on sait par les expériences de M. Helmholtz qu'un courant induit qui dure moins de $\frac{1}{600}$ de seconde produit des contractions qui du-

rent jusqu'à $\frac{1}{3}$ de seconde; il est donc possible que le courant induit ait cessé d'exister avant le moment où la contraction a soulevé les fils *n*, *n'*, et rompu à la fois le circuit d'induction de celui de la batterie *f*. Cependant les courbes de M. Boech démontrent que la contraction passe en quelque sorte instantanément à son maximum, car le trait marqué par la plume *c* paraît vertical; alors la rupture du courant d'induction pourrait se faire ici avant qu'il eût produit son effet total. A partir du maximum, la contraction, ou plutôt la réaction du muscle, diminue avec une lenteur relative; l'abaissement graduel et un peu ondulé de la plume *c* marque la période du retour à l'état primitif. Quand le rallongement est devenu tel que les fils *n*, *n'*, touchent le mercure des capsules, le circuit de *f* est de nouveau fermé, l'armature *j* attirée, le circuit de *g* rompu, et un deuxième courant d'induction développé. C'est ainsi que l'appareil, avec la disposition dont nous parlons, peut tracer toutes les phases des contractions successives produites par la même cause. Or, il arrive qu'après un petit nombre de secousses (8 ou 10), le muscle commence à se paralyser, l'intervalle des contractions augmente de plus en plus, et enfin elles cessent complétement, bien que le même courant continue à l'exciter, car nous nous sommes assuré qu'il n'y a aucune différence sensible de conductibilité. »

Cet exemple suffit pour faire comprendre tout ce qu'il y a d'ingénieux et de précis dans le kymographion de M. Boeck, et la grande variété des expériences délicates qu'il permet de faire sur les divers sujets que nous avons indiqués et sur d'autres analogues.

Enregistreur des mouvements de flexion des ponts en tôle de M. Marqfoy. — Depuis quelques années, l'art de franchir les grandes portées à l'aide de ponts en tôle commence à s'introduire en France dans les travaux publics et particulièrement dans les chemins de fer. Mais, bien que les résultats

qu'ils ont fournis jusqu'ici aient été avantageux, ces ponts sont de date trop récente pour qu'on puisse être fixé sur leur degré de solidité avec le temps et avec le service. Il se produit en effet dans les métaux, par suite de chocs et de vibrations souvent répétés, divers changements moléculaires qui, en augmentant leur état cristallin aux dépens de leur état filamenteux, les rend durs et cassants et diminuent leur ténacité. Les ponts en tôle, qui sont très-souvent dans un état de vibration plus ou moins complet, soit par suite du passage des trains, soit par l'action même des vents, subissent évidemment les effets de ces vibrations et tendent à acquérir cet état cristallin dont nous venons de parler. Mais dans quel rapport cette tendance se manifeste-t-elle avec l'amplitude et la fréquence des vibrations, avec les intervalles de temps qui séparent les ébranlements? Telles sont les questions qui devraient être résolues pour qu'on puisse avoir quelques données certaines sur la solidité future de ces ponts, et auxquelles il est impossible de répondre aujourd'hui dans l'état actuel de nos connaissances. « Dans notre pensée, dit M. Marqfoy[1], de même qu'on essaie aujourd'hui les ponts en tôle dès leur achèvement pour constater leur solidité, de même il nous semble indispensable qu'après un certain nombre d'années de nouveaux essais soient opérés pour apprécier les altérations que les ponts ont pu subir sous l'influence des diverses causes que nous avons énoncées. La comparaison des résultats ainsi obtenus avec les résultats primitifs pourra seule éclairer les ingénieurs sur le degré de confiance qu'ils doivent attribuer dans l'avenir à ce genre de construction. A ce double point de vue, il nous a paru utile d'indiquer les moyens exacts que l'on pourrait employer pour résoudre le problème, et qui pourraient *à fortiori* s'appliquer aux essais que l'on fait actuellement. »

1. *Annales télégraphiques*, livraison de juillet et août 1858.

Ces essais, dont parle M. Marqfoy, sont de deux espèces, l'essai statique et l'essai dynamique. Le premier consiste à répartir uniformément sur toute l'étendue du pont une certaine charge qui doit être plus grande que la résistance calculée et à enregistrer la flèche de l'arc de flexion du pont sous cette charge. Le second consiste à faire circuler à grande vitesse sur chaque voie séparément, puis sur deux voies simultanément, deux trains composés d'un certain nombre de véhicules chargés et à enregistrer également les flèches des arcs décrits par le pont en différents points de sa longueur.

Comme ce sont les flexions produites dans ce dernier cas qui peuvent exercer une influence fâcheuse sur la solidité future de ce genre de ponts, les indications qui s'y rapportent pourraient avoir quelque valeur au point de vue de l'étude de cette solidité, si elles étaient faites de manière à fournir pour le calcul des éléments d'observation plus précis et plus nombreux. Or, c'est pour obtenir ce résultat que M. Marqfoy a combiné l'appareil que nous représentons fig. 11, pl. III, et qui peut donner :

1° De demi-seconde en demi-seconde la courbe du pont dans l'espace pendant le passage du train ;

2° La position des trains correspondante à chacune de ces courbes ;

3° La courbe décrite dans l'espace par un point quelconque du pont pendant par le passage du train ;

4° La position des trains correspondant à chaque position de ce point.

Les courbes dans l'espace sont, bien entendu, représentées par leurs projections sur deux plans verticaux rectangulaires.

Il va sans dire que plusieurs appareils semblables à celui que nous allons décrire doivent être employés et être placés en différents points déterminés du pont, la courbe de celui-ci

dans l'espace devant être définie par les positions connues d'un certain nombre de ces points.

L'enregistreur de M. Marqfoy se compose d'une partie fixe et d'une partie mobile. La première est fixée sur le pont de service en bois placé parallèlement au pont en tôle, lequel pont en bois est toujours conservé jusqu'à l'entier achèvement de celui en tôle. La seconde est montée sur une pièce en bois fixée sur l'une des poutres du pont de tôle, précisément en face de la partie fixe.

Le mécanisme placé sur le pont de service se compose essentiellement de deux enregistreurs électro-chimiques AA′ disposés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre et qui sont rendus solidaires par l'intermédiaire de deux roues d'angle r r' d'égale diamètre et engrenant ensemble. Chacun de ces enregistreurs se compose de deux cylindres C et A, dont l'un, C, sert de support à une bande de papier électro-chimique enroulée en provision sur lui, et dont l'autre, A, placé au-dessus de celui-ci, effectue le tirage de la feuille de papier qui passe devant une large plaque de cuivre PP disposée verticalement en avant de A, et dont les extrémités supérieure et inférieure sont recourbées de manière à ne pas opposer de parties anguleuses au papier au moment du déroulement. Un style fixe F, dont la pointe est en F, et qui peut être placé à la hauteur que l'on veut au moyen d'une vis de pression, complète le système fixe.

Quant au système mobile, il consiste uniquement dans deux styles de fer S, S′ solidement assujettis sur la pièce de bois adaptée au pont de fer et qui peuvent avancer ou reculer sous l'influence de ressorts à boudin, à peu près comme les frotteurs à piston que nous avons eu si souvent occasion de décrire.

Inutile de dire que le mouvement est communiqué aux enregistreurs par l'une ou l'autre des manivelles M, M′; que les plaques verticales PP des différents appareils em-

ployés sont mises en rapport avec le pôle négatif d'une pile, et que tous les styles sont mis en relation avec l'autre pôle de cette pile, soit directement, soit indirectement, par l'intermédiaire d'un double interrupteur chronométrique; cet interrupteur est mis en fonction par un chronomètre battant la seconde et est commun à tous les appareils disposés sur la longueur du pont. Un commutateur permet d'ailleurs d'interposer la pile dans le circuit à un moment donné.

Voici maintenant comment on fait usage de ce système d'appareils :

A chaque enregistreur est posté un agent qui reçoit l'ordre de tourner les cylindres à un signal convenu, et un agent spécial est chargé du commutateur et du chronomètre.

Lorsque tout est prêt et que le train d'essai (parti d'une distance assez grande pour que sa vitesse sur le pont puisse être considérée comme uniforme) est arrivé à une petite distance du pont déterminée à l'avance, on tire un coup de pistolet pour annoncer le début de l'essai. Les agents, avertis par ce signal, commencent aussitôt à faire tourner leurs cylindres, et celui qui est chargé du commutateur met la pile en action.

Dès que la première locomotive se présente à l'entrée du pont, l'observateur chargé du chronomètre pointe ce passage sur l'instrument, et un second pointage est effectué de la même manière sur un second chronomètre au moment où le dernier véhicule quitte le pont. Entre ces deux pointages, tous les styles ont à chaque battement du chronomètre marqué des traces sur le papier chimique.

Dès que le train a franchi le pont, un second coup de pistolet annonce la fin de l'essai; aussitôt le circuit est interrompu à l'aide du commutateur, et les agents préposés au service des enregistreurs cessent de les faire tourner.

Par cette expérience on obtient, de demi-seconde en demi-

seconde, tracées sur le papier chimique, les positions de chaque point du pont par rapport à un point fixe servant de repère, et avec ces données le relevé des courbes cherchées s'effectue immédiatement. Les irrégularités dans la vitesse des différents enregistreurs, sont sans effet sur ces déterminations, puisque c'est la longueur de l'intervalle entre les traits fournis par le style fixe qui sert d'unité de comparaison, et que, pour la détermination des courbes, tous ces intervalles, sur les différents appareils, doivent être rapportés à une même longueur.

« Il est certain maintenant, dit M. Marqfoy, que si le pont présente quelque défectuosité, s'il a des parties faibles, s'il a une tendance à l'écartement, plus grande d'un côté que de l'autre, si son élasticité et sa flexibilité ne sont pas régulières, si enfin le pont n'offre pas de chaque côté des deux rives la symétrie que la théorie lui avait assignée, ces effets doivent se manifester dans les courbes obtenues par les expériences précédentes, et leur inspection doit être l'enseignement le plus utile, le guide le plus sûr pour les ingénieurs chargés de l'entretien de ces ponts.

« Il est encore une connaissance qui doit résulter de l'étude de ces courbes, au point de vue de l'art de la construction des ponts, et qui nous semble présenter de l'intérêt.

« Un pont en tôle peut être considéré comme une pièce métallique encastrée aux piles et aux culées. Lorsque sous l'influence du passage d'un train le pont vibre, il s'établit dans toute sa masse, pendant sa vibration, *des surfaces nodales* dont la forme dépend du mode d'encastrement. Les vibrations, nulles en tous les points *nœuds,* ont des amplitudes variables, suivant leur éloignement de ces nœuds. Si les surfaces nodales passent aux piles et aux culées, les vibrations du pont, quelque fortes qu'elles soient, y sont insensibles. Si elles s'en éloignent, les vibrations s'y communiquent dans toute leur énergie.

« On comprend dès lors qu'il importe, au point de vue de la conservation de ces ouvrages, de les placer précisément sur une partie de surface nodale. Il est donc utile d'étudier la disposition de ces surfaces, leur *lieu géométrique dans l'espace* pendant la circulation des trains, soit pour le modifier, s'il est temps encore, par un changement de répartition dans les diverses masses du pont, soit pour en tirer un enseignement pour les constructions de même nature à exécuter ultérieurement.

« Sur les courbes d'essai que nous avons donné le moyen d'obtenir, les surfaces nodales seront nettement accusées par un certain nombre de leurs points où les amplitudes des vibrations seront *minima.*

« Disons, en passant, que la remarque que nous faisons ici est générale et principalement applicable à l'installation des grandes machines dans les ateliers de construction. »

Nous n'avons parlé que de l'essai dynamique; mais les appareils que nous venons de décrire peuvent servir, dans des conditions analogues, à constater les effets de l'essai statique. Seulement, dans ce genre d'essai, le chronomètre n'est plus nécessaire. Il suffit de faire passer un courant électrique, par exemple d'heure en heure, pour obtenir les transformations successives du pont pendant la durée de l'expérience.

Perfectionnements nouveaux apportés au mesureur électrique à distance de M. Th. du Moncel. — Nous avons étudié, dans le 2e volume de notre *Exposé,* ce genre d'appareils dont le but principal est de fournir à l'établissement hydraulique chargé de la distribution des eaux dans une ville les indications des variations du niveau de l'eau dans les réservoirs d'alimentation où les eaux viennent en quelque sort s'emmagasiner avant que de s'écouler en ville. De cette manière, le directeur de cet établissement peut connaître sans sortir de son cabinet l'état d'approvisionnement

de ces réservoirs et la dépense d'eau qui s'est faite dans un temps donné.

Ce système, comme nous l'avons vu, comporte deux genres d'appareils : un transmetteur et un récepteur. Ce dernier peut être traçant ou simplement à aiguilles; mais ces appareils sont plus ou moins nombreux, suivant le nombre de réservoirs avec lesquels ils doivent être reliés électriquement.

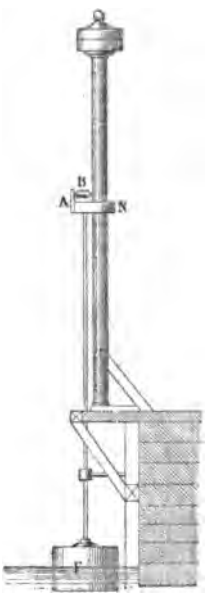


Fig. 63.

Le transmetteur se compose d'une colonne de bois placée sur le bord du bassin ou du réservoir sur lequel on doit opérer. Cette colonne a une longueur suffisante pour correspondre grandement à la hauteur maximum que peut atteindre le niveau de l'eau. Sur cette colonne glisse à frottement

doux un anneau de fer N (fig. 63), muni de galets, auquel est adapté un socle de bois A. Sur l'un des côtés de ce socle est fixé un frotteur à piston B, qui appuie sur une bande de cuivre appliquée sur la colonne et qui est coupée transversalement de deux en deux centimètres ou de cinq en cinq, suivant le degré d'approximation que l'on désire obtenir de manière à constituer un interrupteur.

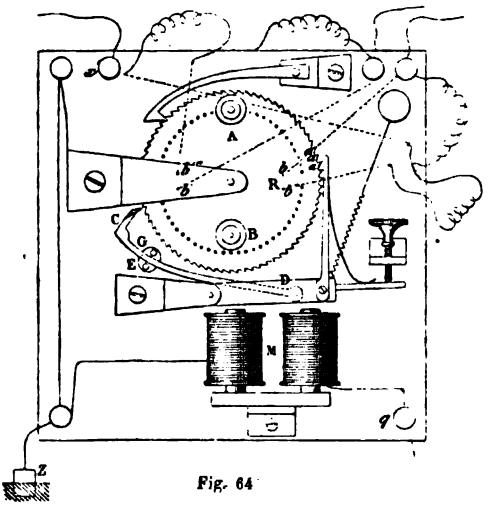


Fig. 64

Toutes ces petites plaques sont en relation par des fils avec de petites tiges métalliques *a*, *a*, *a*, fig. 64, disposées circulairement sur une planchette d'acajou ou de caoutchouc durci placée au-dessus du chapiteau de la colonne, et l'extrémité de ces petites tiges affleure la surface de la planche. Par cette disposition, les plaques échelonnées le long de la colonne se trouvent toutes représentées au sommet de cette colonne et se trouvent groupées dans un assez petit espace, pour qu'un frotteur A, animé d'un mouvement

de rotation quelconque, puisse être mis successivement en rapport avec elles.

Ce mouvement de rotation peut être transmis directement par l'électricité au moyen d'une roue à rochet, comme le représente la figure; mais j'ai reconnu, par l'expérience, qu'il valait mieux avoir recours à un mouvement d'horlogerie à quatre mobiles et à régulateur à pendule, comme les mécanismes des télégraphes à mouvements synchroniques de M. Theiler. La détente de ce mouvement est portée par l'armature d'un électro-aimant et bute contre un levier porté par le dernier mobile; mais comme ce dernier mobile tournerait trop vite et n'aurait pas une force suffisante pour entraîner le frotteur à piston dont nous avons parlé, l'armature de l'électro-aimant armée de la détente porte un petit levier qui s'engage dans une coche pratiquée sur la roue du deuxième mobile, à laquelle est adapté le frotteur. Cette disposition est du reste mécaniquement la même que celle de la détente des sonneries de pendules.

Le frotteur qui doit agir sur les plaques de la colonne est porté par une tringle adaptée à un large flotteur qui donne la hauteur de l'eau, et se trouve mis en relation avec l'appareil récepteur par un fil spécial. Un autre fil communiquant à l'électro-aimant dont nous avons parlé précédemment complète avec la terre la relation électrique.

Le récepteur qui se trouve dans le cabinet du directeur ou du contrôleur des eaux consiste :

1° Dans un mouvement d'horlogerie marchant synchroniquement avec celui du transmetteur, et dont le second mobile met en marche une crémaillère avec laquelle il engrène;

2° Dans un système électro-magnétique de déclanchement qui permet, à un instant donné, le désengrènement de la crémaillère;

3° D'un système d'interrupteur électro-chronométrique

qui a pour objet de fermer le courant à travers l'électro-aimant du transmetteur à des périodes de temps réglées d'avance, et qui peuvent varier depuis cinq minutes jusqu'à une heure ;

4° Un système enregistreur mis en mouvement par l'horloge chargée de réagir sur le transmetteur. Ce dernier système n'est autre chose qu'un petit chemin de fer sur lequel se meut un chariot mis en mouvement par l'horloge. Ce chariot porte une planche sur laquelle est fixée la feuille de papier destinée à recevoir les indications et avance de vingt centimètres en douze heures. Voici maintenant comment fonctionnent ces appareils : en supposant qu'on ne veuille avoir des indications que toutes les demi-heures.

Au moment où la demi-heure sonne, un courant électrique est fermé par la sonnerie à travers les électro-aimants commandant les deux mouvements synchroniques sur l'appareil transmetteur ou mesureur, et sur l'appareil récepteur. Le frotteur du premier passe successivement au-dessus des différentes tiges correspondantes aux plaques interruptrices de la colonne, et la crémaillère de l'appareil récepteur, qui porte le crayon traçant, suit cette marche en s'avançant sur le papier du chariot enregistreur.

Tant que le frotteur de l'appareil mesureur n'a pas rencontré la tige en rapport avec la plaque touchée par le frotteur du flotteur, cette marche synchronique se continue; mais, au moment où cette rencontre a lieu, un courant se trouve fermé à travers l'électro-aimant de déclanchement du récepteur et désengrène la crémaillère, qui se trouve alors entraînée par un contre-poids. Afin que ce désengrènement subsiste jusqu'à l'entière révolution du mesureur, un rhéotome conjoncteur de la même nature que celui de mon premier appareil décrit page 415, tome II, est placé devant l'armature de l'électro-aimant de déclanchement, et ce rhéotome est relié avec un second rhéotome disjoncteur placé

sur l'axe de la roue du mesureur, lequel coupe le courant, une fois que cette roue a accompli un tour entier sur elle-même. Comme la crémaillère s'est avancée sur le papier, dans le même rapport que le frotteur du mesureur, la longueur du trait laissé sur le papier indique le nombre de plaques qui ont passé sous ce frotteur avant le déclanchement de la crémaillère, c'est-à-dire la hauteur du niveau de l'eau dans le réservoir. Une demi-heure après, une nouvelle indication est fournie, et ainsi de suite.

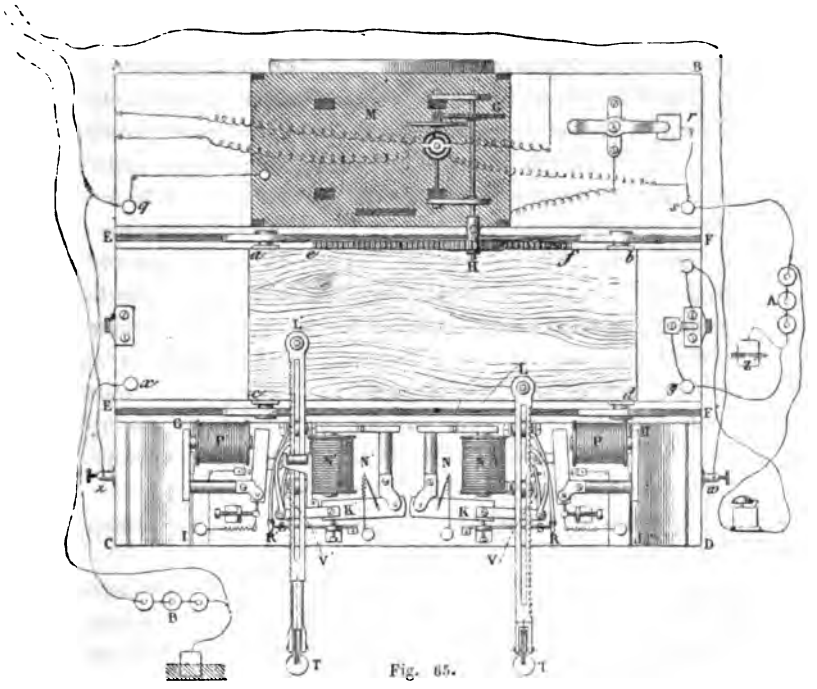


Fig. 65.

Si on voulait avoir des indications plus fréquentes et se rapportant à plusieurs mesureurs, on prendrait l'interrupteur chronométrique sur la minuterie de l'horloge ; mais

alors il faudrait que les électro-aimants des mesureurs fussent munis d'un rhéotome commutateur. De cette manière, les mesures des niveaux, dans les différents réservoirs, s'alterneraient sur le chariot enregistreur.

La figure de la page 453, qui représente le récepteur de mon premier système pour deux réservoirs, permet de comprendre le jeu de l'appareil précédent, dont il ne diffère d'ailleurs qu'en ce que la crémaillère à dents de rochet est remplacée par une crémaillère à dents rondes, et qu'en ce que l'électro-aimant N, N′, employé comme système moteur de la crémaillère, est remplacé par un mécanisme d'horlogerie marchant synchroniquement avec celui du transmetteur.

Quand le récepteur ne doit être seulement qu'indicateur, il peut se passer de crémaillère et de chariot enregistreur. Une aiguille mobile autour d'un cadran, divisée par rapport aux plaques du mesureur, fournit les indications à la manière des télégraphes à cadran, et le rôle de l'électro-aimant de déclanchement, dans ce cas, est simplement de faire rétrograder l'aiguille en la dégageant du mécanisme d'horlogerie qui la commande. Ce système de récepteur, ne fournissant que des indications fugitives, peut être mis, à un instant ou à un autre, en rapport avec les différents mesureurs sans dépendre d'une horloge. Du reste, le jeu des appareils, dans ce cas, est exactement le même que celui que nous avons expliqué précédemment.

Le mesureur électrique est, comme je le disais, susceptible de nombreuses applications.

Pour la mesure des crues d'eau, il fournirait aux ingénieurs des ponts et chaussées chargés de ce soin beaucoup de renseignements utiles, sans qu'ils aient besoin pour cela de sortir de leur cabinet. D'ailleurs, ces appareils pouvant fonctionner à telle distance qu'on veut, on pourrait, en aval d'un canal sujet aux inondations, être prévenu, par leur intermédiaire, assez à l'avance pour qu'on eût le temps d'ou-

vrir les écluses. Enfin, pour les sondages des côtes susceptibles d'ensablements variables, il pourrait fournir des indications qui montreraient leur marche progressive.

Nouveau système de mesureur électrique à distance. — Au moyen de l'appareil précédent, les mesures des différentes hauteurs d'eau sont traduites électriquement sur le lieu même où se trouvent les réservoirs d'eau, et le résultat de ces mesures est ensuite transmis aux appareils traceurs. J'ai cherché, dans un nouveau système, à renverser les données du problème et à faire indiquer directement les mesures sur le récepteur lui-même. De cette manière, j'économise un fil à la ligne, et l'appareil transmetteur, réduit à un simple commutateur, exige dans son entretien un soin beaucoup moins minutieux. Voici en quoi consiste mon nouveau système :

D'abord le transmetteur consiste uniquement dans un simple poteau en bois sur lequel se trouvent fixées, non plus une bande métallique coupée de place en place par un trait de scie, mais bien deux bandes dentelées de cinq en cinq centimètres, ou même de deux en deux.

Sur chacune de ces bandes glisse un frotteur rigide à galet; mais, par la manière dont ces frotteurs sont reliés au socle de bois qui les met en mouvement, ils ne frottent sur les dents des bandes que quand ils se meuvent dans un sens déterminé, comme le style du télégraphe de M. Caselli. En conséquence, l'un de ces frotteurs n'agit sur la bande dentelée à laquelle il correspond que lors des mouvements ascensionnels du flotteur, tandis que l'autre ne produit son effet que pour les mouvements descensionnels. Pour obtenir cet effet, chacun des frotteurs est adapté à l'extrémité d'une petite bascule AB, CD (fig. 66, page 456), pivotant sur les côtés d'un socle de bois semi-circulaire qui leur est commun, et ces bascules, reliées l'une à l'autre par une traverse HO, reçoivent leur mouvement de l'anneau GN sur lequel réagit la tige du flot-

teur par l'intermédiaire d'une bielle BG; une tige IJ, munie de deux portées, JJ', et fixée en I sur un cercle de fer unissant les deux extrémités du socle de bois, permet à la tige L de pousser ou de ramener ce socle en conservant un certain jeu dans ce double mouvement. Enfin, deux petits ressorts

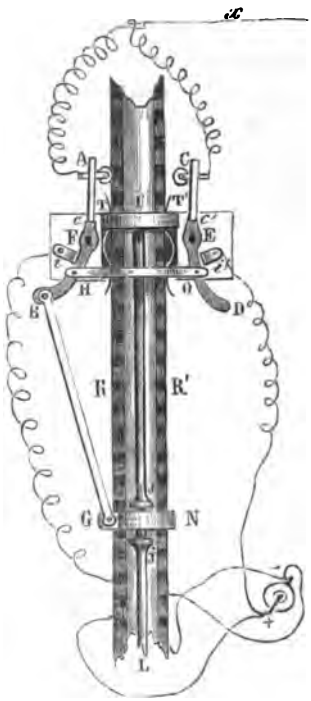


Fig. 66.

arqués TT', introduits entre la circonférence intérieure du socle et la colonne, permettent à celui-ci de se maintenir en tel point de la colonne où on le place. Avec cette disposition, on comprend facilement que, quand le flotteur s'élève, le frotteur A appuie sur la bande dentelée qui lui correspond, tandis que le frotteur C s'en trouve écarté. Au contraire,

quand le flotteur s'abaisse, c'est le frotteur C qui appuie sur la colonne, et le frotteur A qui s'en éloigne.

La pile est placée dans une maison voisine de l'appareil, et se trouve tellement reliée avec les leviers AB, CD, que ceux-ci forment commutateur à renversement de pôles. Pour cela, ces leviers sont moitié cuivre et moitié ivoire. L'un AB est en cuivre de B en c, l'autre CD en cuivre de D en c', et en face de ces parties de cuivre se trouvent fixées deux ressorts $i\,i'$ en rapport, l'un i avec le pôle négatif de la pile, l'autre i' avec le pôle positif. Les bandes dentelées elles-mêmes communiquent à la pile d'une manière inverse, c'est-à-dire R avec le pôle positif, R′ avec le pôle négatif. Enfin les frotteurs sont en rapport par des fils extensibles avec le fil de ligne x.

Quant au récepteur, il se compose d'un mécanisme semblable à celui du télégraphe autographique de M. Lacoine, modifié, ainsi que je l'ai expliqué page 246, et dont le style, au lieu d'être porté par une équerre mobile, est simplement fixé à l'extrémité de l'une des crémaillères qui gouvernent cette équerre. Comme l'application qui nous occupe en ce moment n'exige qu'un mouvement du crayon dans un seul sens, un seul des mécanismes représentés fig. 9, pl. I, est nécessaire; seulement la tablette portant le papier est disposée comme celle de mon premier appareil pour être mise en mouvement par une horloge. Voici maintenant le jeu de ce système qui fournit non plus une série de hachures parallèles placées les unes à côté des autres, mais une courbe dentelée continue.

Pour plus de clarté nous supposerons le réservoir, dont il s'agit de mesurer la hauteur d'eau, à sec, et le crayon du récepteur à la ligne de repère. Au moment où l'eau arrivera dans le réservoir, le flotteur sera soulevé, et le style A appuyant sur la bande dentelée fermera le courant à travers le récepteur. A mesure que l'eau montera, plusieurs fermetures

et ouvertures de courant seront produites et feront échapper successivement celle des deux roues commandant le mouvement du style qui correspond au sens du courant envoyé. Le crayon avancera donc sur le papier du récepteur, et prendra une position qui, à l'égard de la ligne de repère, représentera la hauteur de l'eau dans le réservoir. Tant que le niveau de l'eau ne changera pas, le crayon en question restera à la même place, et, par suite du mouvement du papier, décrira une ligne parallèle à la ligne de repère. Mais aussitôt que le niveau de l'eau changera, un nouvel échappement ou une nouvelle série d'échappements de l'une ou l'autre des deux roues commandant le mouvement du crayon aura lieu, et, suivant le sens du courant envoyé, le crayon baissera ou s'élèvera de manière à décrire une courbe de ce genre :

Or, le sens du courant envoyé dépend précisément du mouvement d'ascension ou de descente du flotteur des réservoirs. En effet, quand ce flotteur s'élève, le frotteur A appuie sur la bande R, alors le courant va de + en R, de R en A, de A en x (fil de ligne), et de x dans le récepteur, de celui-ci en terre, puis il revient par le flotteur, la tige L, la bielle GB, le bras B, le ressort i' et le pôle négatif de la pile : il va donc du récepteur à la terre. Or, quand le flotteur s'abaisse, le frotteur C appuie à son tour sur la bande R′, et le courant suit le circuit +, i', DE, HO, FB, BG, L, flotteur, terre, récepteur, fil de ligne x, C, R′ et — : dans ce cas, il va donc de la terre au récepteur.

L'inconvénient de ce système est l'impossibilité dans laquelle on est de ramener sans complication au repère le récepteur et le transmetteur à des moments déterminés.

Galvanométrographe de M. Regnard. — M. Regnard a eu l'idée d'appliquer le principe de son hygrométrographe, que nous avons décrit précédemment, page 418, à l'enregistration des indications fournies par les boussoles des sinus, indications qui peuvent être très-utiles dans beaucoup de recherches, principalement pour reconnaître les influences qui agissent sur les courants des lignes télégraphiques, et pour étudier les différentes variations qui surviennent dans l'énergie des piles, avec le temps, suivant les circonstances atmosphériques, etc., etc.

Ce nouvel appareil ne diffère des boussoles de sinus ordinaires employés dans les postes télégraphiques qu'en ce que le cercle divisé de la boussole est remplacé par la roue R du mécanisme moteur que nous avons étudié pages 415 et 416, et qu'en ce que les deux butoirs destinés à limiter les oscillations de l'aiguille aimantée, par l'intermédiaire d'une aiguille de platine soudée en croix sur celle-ci, sont remplacées par deux appendices isolés analogues aux contacts v et x (fig. 9, pl. III). Le courant de la pile P arrive à l'aiguille de platine précédente par le pivot sur lequel elle oscille avec l'aiguille aimantée, et les appendices isolés le transmettent aux électro-aimants EF qui font embrayer les cliquets sur la roue R pour la faire tourner dans un sens ou dans l'autre, suivant la direction de l'aiguille, ainsi que nous l'avons vu. Il en résulte donc que la roue R suit tous les mouvements de cette aiguille et ne s'arrête qu'au moment où l'aiguille de platine se trouve entre les deux appendices isolés, c'est-à-dire quand la boussole se trouve amenée au repère. Or, comme l'arc décrit par cette roue R, qui remplace le cercle divisé, marque l'intensité du courant électrique, et que l'amplitude de cet arc est représentée par le déplacement de la crémaillère AB, il en résulte que l'intensité électrique peut se trouver notée par la position du style conduit par cette roue comme dans l'hygrométrographe du même auteur.

M. Regnard n'a pas osé étendre son système à l'enregistration des indications fournies par les galvanomètres proprement dits, à cause des réactions que pourraient exercer sur des appareils aussi sensibles les fermetures du courant auxiliaire nécessitées pour l'enregistration.

APPLICATIONS ÉLECTRO-SCIENTIFIQUES DIVERSES.

Système d'appareil électro-magnétique pour puiser de l'eau de mer à diverses profondeurs, de M. Monclar. — Il est d'un grand intérêt pour l'hydrographie de déterminer la salure et la densité de l'eau de mer à diverses profondeurs dans les parages où il existe des courants. La conférence maritime réunie à Bruxelles en 1853, et qui renfermait des représentants des marines de toutes les nations, s'est même vivement préoccupée de cette question; mais, arrêtée par la difficulté de l'opération, elle s'est contentée de recommander l'emploi d'un tube de fer portant à ses deux extrémités des soupapes ouvrant de bas en haut. Ce tube, suivant l'opinion de la conférence, devait, en descendant, laisser circuler librement l'eau de mer dans son intérieur, et, en remontant, il devait, au contraire, ramener de l'eau de la plus grande profondeur à laquelle il serait descendu. Mais, comme l'a observé M. Liais, cet appareil présente de nombreux inconvénients : outre que le jeu des soupapes peut ne pas se faire très-régulièrement, le moindre arrêt dans le mouvement ascendant, le passage d'un courant dans un autre, peuvent déterminer le changement de l'eau contenue dans le tube, ou tout au moins son mélange; de là de graves erreurs. Pour éviter ces inconvénients, M. Liais avait imaginé un appareil ingénieux, fondé sur des équilibres de pression entre les liquides et les gaz; mais cet appareil était nécessairement un peu compliqué, et, pour le simplifier, M. Monclar a eu l'idée de lui appliquer l'électricité.

Pour cela, M. Monclar revient au tube de fer avec ses deux soupapes proposé par la conférence; seulement, il enveloppe les deux extrémités du tube d'une hélice métallique revêtue de gutta-percha, de manière à former de ce tube un électro-aimant droit ayant ses pôles à ses deux extrémités, et pour armatures les soupapes elles-mêmes. Celles-ci doivent être, à cet effet, en fer, et appliquées sur des rondelles de même métal adaptées aux deux extrémités du tube. Au centre de la corde à laquelle doit être attaché l'appareil, M. Monclar place un double fil de cuivre recouvert de gutta-percha qui établit la communication électrique entre l'hélice du tube et l'extérieur.

« Avec un pareil système, dit M. Monclar, il suffirait, quand l'appareil serait descendu à la profondeur voulue, de fermer le courant à travers le circuit immergé, pour qu'aussitôt les soupapes fussent attirées et vinssent se coller aux deux extrémités du tube avec une force suffisante pour que les causes accidentelles qui pourraient les faire ouvrir, au moment de la cession de l'appareil, demeurassent sans action. Un câble construit ainsi que nous venons de le dire serait sans doute un peu plus coûteux que celui dont on se sert actuellement; mais ce devrait être une considération fort secondaire, car il pourrait servir à une foule d'opérations. L'électricité, continue M. Monclar, me paraît être, en effet, l'agent par excellence destiné à seconder l'homme dans toutes ses recherches au sein des mers : température, pression, vitesse des courants, etc., elle peut tout lui indiquer. Elle lui permet, à toute profondeur, de faire jouer tel mécanisme qui, approprié au but qu'on se propose d'atteindre, fera que bientôt l'Océan ne renfermera plus de mystères. »

Application de l'électricité aux recherches à faire au sein des mers. — Toujours préoccupé du rôle que peut jouer l'électricité pour nous dévoiler les secrets du fond des mers,

M. Monclar continue de la manière suivante ses projets de recherches électro-nautiques :

« Si quelque chose m'étonne, dit M. Monclar, c'est que, depuis que le télégraphe électrique fonctionne, on n'ait pas appliqué l'électricité aux recherches sous-marines.

« Je ne connais pas les instruments dont on se sert aujourd'hui. Je le regrette, car je ne doute pas que je n'en eusse retiré quelque idée utile pour le travail que je vais entreprendre; mais comme, dans cette communication, je n'ai d'autre dessein que d'exposer les avantages de l'emploi de l'électricité dans la question qui nous occupe, et que la forme des appareils me paraît tout à fait secondaire, je ne me suis point arrêté à cela.

« La principale recherche à faire au sein de l'Océan me paraît être celle des courants sous-marins. Or, je vais indiquer comment on pourrait déterminer leur distance de la surface de la mer, leur vitesse, leur direction, leur étendue verticale, leur température et la nature de l'eau qu'ils entraînent, tout cela à l'aide d'un seul sondage.

« Supposons un câble d'une longueur suffisante pour atteindre aux plus grandes profondeurs (soit environ de 18 à 20 kilomètres), renfermant dans son centre deux fils de cuivre revêtus de gutta-percha, et suffisamment isolés pour servir de conducteurs à deux courants différents. A l'extrémité du câble se trouvera une roue à palettes supportée par un cadre d'une dimension convenable. Toutes les fois que l'on suspendra l'immersion du câble, la roue ne tournera que sous l'influence d'un courant sous-marin ou de la marche du vaisseau; mais comme, dans bien des cas, il sera possible à celui-ci de se maintenir immobile, ou à peu près, au moins pendant quelques instants; que, d'ailleurs, dans le calcul, il peut être tenu compte de sa dérivation, je n'en parlerai pas davantage pour le moment.

« Au-dessous du cadre dont nous avons parlé, et perpen-

diculairement à l'axe de la roue, se trouvera une grande plaque de cuivre faisant l'office de girouette[1], pour que les palettes se présentent toujours dans le sens du courant de l'eau. Aux deux extrémités de l'axe de la roue, il y aura deux petites boîtes remplies d'huile, dans le centre de chacune desquelles se trouvera une toute petite roue également à palettes. Dans l'une de ces roues, les palettes seront équidistantes, tandis que dans l'autre elles seront à des intervalles inégaux. Les palettes communiqueront, quand elles seront en mouvement, avec le fil conducteur, et fermeront et rompront alternativement le circuit. Elles seront revêtues, sur l'un de leurs côtés, d'une matière isolante, de telle sorte que, lorsque le courant de l'eau ira de gauche à droite, ce sera l'une d'elles qui fermera le circuit, tandis que, s'il va dans le sens opposé, ce sera l'autre. A l'aide d'une sonnerie électrique établie sur le vaisseau, ou bien d'un cadran, les observateurs pourront apprécier la vitesse du courant et reconnaître, par l'isochronisme ou par l'inégalité des interruptions, si le courant de l'eau va de droite à gauche ou de gauche à droite par rapport à l'axe de la roue, chose qu'il est indispensable de savoir pour déterminer sa direction.

« Maintenant que nous connaissons la vitesse, voici comment nous pourrions reconnaître la direction :

« A un point quelconque de la partie supérieure du cadre, supposons une tige à l'extrémité de laquelle sera fixée une boussole. Le pivot supportant l'aiguille aimantée sera soutenu par un petit ressort qu'une légère pression pourra faire fléchir. Au-dessus il y aura une bande de papier qu'un mécanisme d'horlogerie fera mouvoir parallèlement à la direction du courant de l'eau. Si nous supposons l'aiguille aimantée munie à sa partie supérieure de quelques pointes, il

1. Le fil conducteur pourra aboutir à cette plaque, qui servirait alors en même temps, à cause de l'étendue de sa surface, à rendre l'eau conductrice.

sera facile de concevoir, qu'à l'aide d'une pression de la bande de papier sur l'aiguille, pression que l'on pourra obtenir à volonté à l'aide d'un petit mécanisme que mettra en mouvement le courant électrique passant par le second fil que contient le câble, on pourra savoir la direction du courant sous-marin, car la bande de papier étant parallèle à ce courant, on n'aura qu'à mesurer l'angle qu'elle fera avec l'aiguille aimantée dont elle portera les empreintes.

« Ainsi, sans avoir besoin de remonter le câble, on pourra connaître, à un point donné de l'Océan, tous les courants qui peuvent exister dans sa profondeur, ainsi que leur vitesse et leur direction. En comptant le nombre de mètres immergés, on saura leur distance de la surface, et à l'aide d'observations successives, on aura l'étendue de ces courants dans le sens vertical.

« Veut-on connaître aussi la nature de l'eau que ces courants entraînent? il n'y a qu'à ajouter vers l'extrémité du câble quelques tubes de fer disposés ainsi qu'il a été dit, page 461 ; et pour qu'on puisse obtenir plusieurs indications pour une seule immersion, on fera réagir le courant séparément sur les soupapes de ces différents tubes, qui, une fois fermées, ne pourront plus s'ouvrir, par l'effet d'un encliquetage. Il ne s'agit donc que de fermer alternativement le courant, à des profondeurs déterminées, à travers les circuits correspondants à ces différents tubes, pour obtenir plusieurs échantillons d'eau de mer puisés à différentes profondeurs. En employant des rhéotomes de différents genres, on pourrait même, au moyen de deux fils conducteurs seulement, combiner des mécanismes divers qui ne fonctionneraient que dans certaines circonstances données.

« Quant à la température de l'eau, elle peut être déterminée à l'aide d'un thermomètre attaché à chaque tube de fer et pour lequel on prendrait les précautions convenables pour le garantir contre les pressions qu'il aurait à supporter

à des profondeurs considérables. Au haut du réservoir de ce thermomètre se trouvera une languette qu'un petit mécanisme, mû par l'électricité au moment même de la fermeture du cylindre, fera fonctionner, et qui empêcherait toute communication ultérieure entre le tube et le réservoir.

« L'électricité peut se prêter à bien d'autres observations ; elle pourra aider à constater, à l'aide de plaques daguerriennes, en ouvrant et fermant à volonté et à une profondeur quelconque, l'objectif de la chambre obscure, la transparence de l'eau et le point auquel peuvent parvenir les rayons solaires. Je pense que l'on pourra même un jour, à l'aide de la lumière électrique, photographier le fond de la mer jusque dans ses plus grandes profondeurs. En un mot, à l'aide des ressources de la mécanique et avec l'électricité, pour mettre en jeu ses applications si variées, il y aura bien peu d'opérations qu'on ne puisse exécuter au sein des mers. »

M. Monclar propose encore d'utiliser les grandes profondeurs d'eau que présente la mer pour la vérification de la loi de Mariotte sur la compressibilité de l'air, à une pression qui dépasserait mille atmosphères. L'électricité même, suivant l'auteur, devrait intervenir pour faire tourner un robinet après l'expérience faite et notée pour empêcher l'explosion des appareils au moment de l'émersion. Mais je ne sais jusqu'à quel point la vérification de la loi de Mariotte, pour des pressions aussi considérables, présenterait d'avantages pratiques, eu égard surtout aux dépenses considérables qu'entraînerait une pareille expérience.

Enregistration de la vitesse des courants sous-marins. — Le vœu de M. Monclar est sur le point d'être en partie exaucé par le gouvernement ottoman, qui vient de commander à M. Salleron un moulinet à ailettes héliçoïdales, destiné à être immergé au fond du Bosphore, à 80 ou 100 mètres, et qui doit inscrire ses indications électriquement sur le rivage afin qu'on puisse étudier la marche normale des courants

sous-marins. Cet appareil, comme on le comprend aisément, n'est autre chose que le loch électrique que nous avons décrit dans notre troisième volume, et dont nous donnons ci-dessous le dessin pour mémoire.

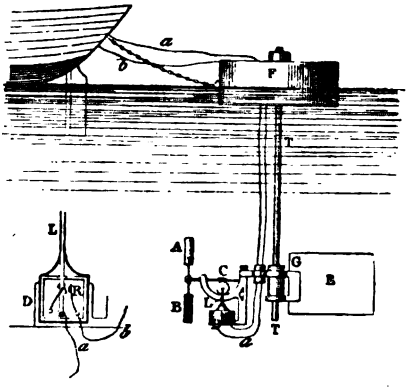


Fig. 67.

Détermination électrique des différences de longitude. — La détermination, par les procédés électriques des différences de longitude des différents lieux, se continue toujours avec le plus grand succès. Depuis deux ans, en effet, on a vérifié les différences de longitude entre Kœnigsberg et Berlin, entre Kœnigsberg et Paris, et entre Bruxelles et Berlin[1]. Les chiffres qui ont été déduits de ces expériences et de celles faites antérieurement montrent définitivement, 1° que l'observatoire de Berlin est situé à l'est du méridien de Paris par 44′ 14″,30 ; 2° que Kœnigsberg est à l'est de Paris par 72′ 38″,4 et à l'est de Berlin par 28′ 24″,1 ; 3° que Bruxelles est situé à l'ouest de Berlin par 36′ 6″,49 ; 4° que Bruxelles est à l'est de Greenwich par 17′ 28″,9 ; 5° que Paris est à

1. Ces expériences ont été généralement dirigées par M. Encke, de Berlin.

l'est de Greenwich par 9′ 21″,5; 6° que Francfort est à l'ouest de Berlin par 18′ 51″,83.

La méthode généralement adoptée en Allemagne est celle des coïncidences que nous avons longuement développée dans notre deuxième volume. Avec cette méthode, les horloges des deux observatoires doivent, comme on le sait, être reliées de manière à marcher synchroniquement l'une avec l'autre, et les observatoires eux-mêmes doivent être par conséquent l'un et l'autre une station télégraphique. On a cherché à faire disparaître les causes d'erreurs personnelles en faisant observer à chaque lieu par trois astronomes pourvus d'un chronomètre particulier, et en ne faisant opérer la détermination du temps, dans chaque lieu, que par une même personne. On peut, du reste, voir les détails de ces diverses opérations dans le mémoire de M. Encke, présenté à l'académie des sciences de Berlin dans sa séance du mois de décembre 1857.

Application des appareils thermo-électriques à la mesure des températures au-dessous du sol et dans l'air, à diverses hauteurs. — Système de M. Becquerel. — L'administration du Muséum d'histoire naturelle a fait construire, dans un terrain de la rue Cuvier qui dépend du Jardin des Plantes, un pavillon météorologique et climatologique, annexe de la chaire de M. Becquerel, dans lequel ce physicien se livre à des observations relatives à l'influence de la chaleur et de la lumière sur les phénomènes physiologiques des animaux et des végétaux. M. Becquerel n'a pas tardé à reconnaître que les thermomètres ordinaires, dans bien des circonstances, étaient d'un emploi très-difficile, et même ne pouvaient être d'aucune utilité lorsqu'il s'agit, par exemple, d'étudier la distribution de la chaleur au-dessous du sol à diverses profondeurs, ou dans l'air à diverses hauteurs. On évite, au contraire, tous les inconvénients en substituant aux thermomètres des appareils thermo-électriques tellement disposés,

qu'ils donnent des indications à 1/10 de degré près sans avoir besoin de corrections d'aucun genre.

Voici le principe sur lequel repose la méthode adoptée par l'auteur et qui a été vérifiée par l'expérience : dans un seul circuit fer et cuivre, où se trouve un galvanomètre à fil court très-sensible, si l'on porte à la même température les deux soudures, en maintenant cette température constante pendant quelques minutes, il se produit deux courants égaux en sens inverses qui se détruisent; l'aiguille aimantée reste à zéro. Quand la température n'est pas la même, il faut élever ou abaisser la température de l'une des soudures, jusqu'à ce que l'aiguille aimantée du galvanomètre qui fait partie du circuit soit ramenée à zéro. Si l'une des soudures a une température que l'on ne peut déterminer, celle de l'autre la donne. « C'est avec cette méthode, dit M. Becquerel, que j'ai disposé des appareils, à l'aide desquels on détermine promptement, à moins de 1/10 de degrés près, la température du sol à différentes profondeurs et celle de l'air à des hauteurs plus ou moins considérables, sans sortir de la pièce où l'on observe.

« On prend deux fils, l'un de fer, l'autre de cuivre, de 1 millimètre au moins de diamètre et d'un certain nombre de mètres de longueur, recouverts l'un et l'autre d'une couche de gutta-percha et soudés par un de leurs bouts. La soudure est introduite dans un tube de verre très-court rempli de mercure et fermé avec soin; on le descend avec les fils adjacents dans un trou foré pratiqué près du lieu d'observation, et que l'on remplit de terre en la tassant avec soin. On fait arriver ensuite les deux bouts non engagés du fil dans la pièce où se trouve le galvanomètre, avec leque on les met en rapport. Après avoir soudé ces deux bouts, on met la soudure dans un tube de verre contenant du mercure où plonge le réservoir d'un thermomètre divisé en dixièmes de degré. Ce tube est introduit dans une éprouvette

de verre fermée hermétiquement avec un bouchon, au travers duquel il passe et qui est encore traversé par deux autres tubes recourbés. L'éprouvette contient de l'éther ou de l'eau, selon qu'il est nécessaire d'abaisser ou d'élever la température de la soudure. Veut-on abaisser la température, on met en rapport un des tubes, celui qui occupe la partie supérieure, avec un aspirateur; l'air aspiré du dehors arrive par le second tube, traverse l'éther, en volatilise une partie, d'où résulte un abaissement de température que l'on règle à volonté : l'aspirateur est analogue à celui que M. Regnault emploie pour faire fonctionner son hygromètre. Lorsqu'il s'agit au contraire d'élever la température de la soudure, on substitue de l'eau à l'éther et on fait communiquer le tube qui plonge jusqu'au fond de l'éprouvette, avec un ballon de verre contenant une petite quantité d'eau et en communication avec l'air au moyen d'un tube qui descend presque au niveau de l'eau. On chauffe le ballon avec une lampe à alcool, puis on fait fonctionner l'aspirateur. L'air chaud passe dans l'éprouvette avec de la vapeur, élève la température de l'eau, puis celle du mercure, et par suite celle de la soudure; on règle facilement l'aspiration, pour que l'aiguille aimantée se maintienne sensiblement à zéro pendant deux à trois minutes, temps nécessaire pour que la soudure et le thermomètre se mettent en équilibre de température. Cette condition est indispensable pour le succès de l'expérience, si l'on veut obtenir des déterminations très-exactes.

« J'ajouterai en terminant que les mêmes appareils peuvent être employés avantageusement à la détermination exacte de la température des parties intérieures du corps de l'homme et de celui des animaux et dans toutes les circonstances où l'on fait usage des effets thermo-électriques pour évaluer les températures. »

VII

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Emploi économique et industriel de la lumière électrique. — Cette question, une des plus importantes de celles qui se rattachent aux applications électriques, a été longuement étudiée et discutée par M. E. Becquerel, et nous croyons ne pouvoir mieux faire que de rapporter ici le remarquable rapport que ce savant a présenté à la société d'encouragement sur ce sujet.

« On se préoccupe beaucoup, et à juste titre dit, M. E. Becquerel, de l'emploi de la lumière électrique, et à chaque nouvelle disposition d'appareil que l'on propose pour maintenir l'arc voltaïque fixe, les mêmes questions se présentent. Est-il avantageux de se servir de la lumière électrique? Dans quelles circonstances peut-on l'employer? Quoiqu'il ne soit pas possible d'y répondre d'une manière absolue, vu que les différentes conditions de production de lumière suivant l'intensité des courants électriques ne sont pas suffisamment connues, cependant nous allons tâcher de donner quelques indications qui permettront de fixer les idées sur ce point.

« Il est facile de reconnaître d'abord que les régulateurs de lumière électrique que l'on possède actuellement fonctionnent suffisamment bien pour que leur utilisation soit possible dans le cas où la source d'électricité offrirait les conditions de régularité et d'économie désirables; cela ne veut pas dire qu'il ne soit pas possible de perfectionner ces régulateurs en les simplifiant et en apportant principalement des améliorations à la fabrication des conducteurs en charbon destinés à former l'arc voltaïque; mais, tels qu'ils sont, leur

forme influe peu, et avec la même source d'électricité on obtiendrait la même quantité de lumière.

« On a déjà déterminé, à plusieurs reprises, la dépense nécessaire pour obtenir un arc lumineux pendant un temps déterminé, mais sans évaluer, dans la plupart des cas, la quantité de lumière correspondante. M. Bunsen[1], cependant, a cité un résultat expérimental d'après lequel une consommation de 300 gr. de zinc, de 456 gr. d'acide sulfurique concentré et de 508 gr. d'acide azotique d'une densité de 1.306 pourrait entretenir pendant une heure un arc lumineux équivalent, en lumière, à cinq cent soixante-douze bougies. Cela donnerait seulement une dépense de 65 centimes par heure pour un éclairage équivalent, à cinq cents bougies; mais cette évaluation est évidemment trop faible et ne peut être admise actuellement dans la pratique : en effet, on ne peut supposer que les piles actuelles fonctionnent pendant plusieurs heures avec la même intensité qu'au moment où on les charge, et alors, quand l'intensité électrique diminue, l'intensité lumineuse de l'arc décroît plus rapidement que celui-ci, de sorte que la quantité de lumière produite ne peut pas être considérée comme proportionnelle à une consommation semblable à celle qui a lieu dans les premiers instants. D'un autre côté, la dépense réelle est plus forte que ne l'indique la loi des décompositions électro-chimiques en proportions définies, car cette dernière exige, pour être vérifiée, des précautions que l'on ne peut prendre en employant des piles qui servent habituellement aux opérations industrielles[2].

1. *Annales de physique et de chimie*, 3e série, tome VIII, p. 34.

2. Depuis la lecture de ce rapport, M. Secchi a publié un résumé de résultats d'expériences analogues à celle-ci. Pour la consommation des piles, il est arrivé à un résultat notablement supérieur au nôtre, puisqu'il trouve, comme prix de revient, une dépense de 9 centimes par élément de pile et par heure, ce qui est double du résultat que l'on verra cité plus loin; quant à l'intensité lumineuse de l'arc voltaïque, elle est tellement supérieure à celle que nous avons obtenue, ainsi qu'aux éva-

« Nous avons donc pensé qu'il était intéressant de déterminer, dans les conditions des expériences ordinaires, quel a été, avec les piles employées (lesquelles sont celles dont on se sert habituellement), le prix de revient de l'éclairage électrique, c'est-à-dire la dépense des piles pour une intensité lumineuse déterminée.

« Les piles voltaïques employées sont les piles usitées généralement aujourd'hui, c'est-à-dire les piles à acide nitrique; on sait que, malgré leurs émanations acides, elles ont été préférées en raison de leur force électro-motrice élevée et de leur faible résistance à la conductibilité qui leur donne une puissance plus grande que celle des autres piles proposées jusqu'ici, eu égard au prix de revient des matières employées.

« Avec une pile de Bunsen de 60 éléments, grand modèle (dont les zincs cylindriques et creux extérieurs ont 20 cent. de hauteur et $8^c,5$ de diamètre, et les vases poreux cylindriques 20 cent. de haut sur $6^c,5$ de diamètre), qui a fonctionné pendant plus de trois heures, on a obtenu les résultats suivants en maintenant l'arc voltaïque de façon que la résistance à la conductibilité varie de 0,5 à 0,67 de la résistance de la pile :

luations données par d'autres observateurs, que nous sommes porté à croire qne M. Secchi aura été induit en erreur : en effet, il a comparé directement l'intensité lumineuse de l'arc voltaïque à celle d'une bougie, et, en opérant ainsi, une faible erreur sur l'évaluation des distances peut affecter notablement le rapport des intensités lumineuses; or, habituellement, on compare l'arc voltaïque à une forte lampe Carcel, et celle-ci est comparée ensuite à l'unité lumineuse choisie; c'est ce que n'a pas fait M. Secchi. (*Nuovo cimento, giornale di fisica*, novemb. et décemb. 1856, tome IV, page 321.)

	QUANTITÉ de ZINC consommée dans les 60 éléments, par heure.	INTENSITÉ du COURANT d'après une boussole des sinus.	INTENSITÉ LUMINEUSE.
Une heure après le montage des couples, mais quand ils ont commencé à fonctionner.....	1k 086	0 663	506
Deux heures après.....	0 826	0 507	195

« Les quantités de zinc ont été obtenues en évaluant le dépôt de cuivre opéré dans un voltamètre à sulfate de cuivre, et en admettant que l'équivalent chimique du zinc ait été dissous dans chaque couple; ce nombre théorique, comme on le sait, est un peu inférieur à celui que l'on observe réellement.

« On doit remarquer que l'intensité lumineuse a diminué rapidement, alors que l'intensité du courant n'a que peu changé. Mais on se rend aisément compte de cet effet, si l'on réfléchit que l'intensité lumineuse doit être fonction de la quantité de chaleur dégagée, laquelle varie comme le carré de la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné. Dans cette expérience, le décroissement de lumière a été un peu plus rapide que ne l'indiquerait cette loi.

« Les quantités de zinc et d'acide sulfurique consommées dans cette expérience sont, en moyenne, par heure, d'après les équivalents chimiques :

Zinc.....	0k,956 à 0f,80c le kilog.,	soit	0f,765
Acide sulfurique (SO^3 HO).	1 ,464 à 0 ,18 —		0 ,264
			1 ,029

« Soit une dépense un peu plus élevée que 1 franc.

« Quant à la dépense en acide nitrique, elle est plus difficile à établir exactement. Si l'on admet que l'action réductrice de cet acide au pôle négatif s'opère en donnant lieu au composé Azo^4, il est évident qu'il faudra un équivalent d'acide pour chaque équivalent de zinc consommé ; mais il peut se produire d'autres composés secondaires, comme le prouve, dans quelques circonstances, la formation de produits ammoniacaux, et alors la consommation en acide nitrique serait moindre. Du reste, nous devons dire que nous nous occupons, conjointement avec M. Frémy, des effets qui résultent de l'action des courants électriques sur les combinaisons diverses de l'azote.

« Nous avons voulu cependant vérifier directement quelle était, dans les conditions ordinaires des expériences, la consommation de l'acide nitrique ; nous avons fait fontionner des couples de Grove et déterminé la diminution du titre de l'acide par les procédés alcalimétriques ; nous avons pu nous assurer que la consommation en acide nitrique a été un peu moindre, quoique peu différente de celle qui correspond à un équivalent de zinc dissous.

« En admettant cette consommation par équivalent on aurait, pour la dépense de la pile des soixante éléments :

Dépense en zinc et en acide sulfurique (comme il est dit plus haut)	1f,03
Dépense d'un équivalent d'acide nitrique, ou 2k,6 d'acide à 36°, à 0f,56 le kilog	1 ,46
Total	2f,49

« Mais on doit remarquer que la dépense réelle est supérieure à ce nombre ; car, si le zinc qui reste peut servir pour des opérations ultérieures, l'acide nitrique, dont le degré aréométrique est abaissé de 36 à 25°, ne donne plus aux couples une action assez énergique pour obtenir l'arc lumineux dans de bonnes conditions : il faut donc le remplacer

par d'autres et l'utiliser autrement. On voit qu'il y aurait grand avantage, comme économie, à recueillir les produits azotés qui se dégagent pendant que les piles fonctionnent, ce que l'on ne fait pas habituellement. En supposant même que l'on ne tienne pas compte de ces effets et qu'on n'évalue que la dépense des matières consommées pendant la production de l'électricité, il faut, en outre, avoir égard à la perte du mercure, à la consommation un peu plus grande de zinc que la théorie indique, et, en outre, à la consommation des conducteurs en charbon entre lesquels se produit l'arc et dont le mètre courant vaut 2 fr. 50; l'on arrive alors, pour les expériences que nous avons faites, à une dépense de 3 fr. par heure pour les soixante éléments, c'est-à-dire à environ 5 cent, par élément et par heure (la pile ne fonctionnant que pendant trois ou quatre heures).

« Nous avons cherché, d'un autre côté, à déterminer directement la consommation du zinc et des acides correspondants pendant que des couples de Bunsen de différents modèles fonctionnent en introduisant, dans le circuit, des résistances variables; nous avons pu reconnaître que les résultats qui seraient fournis donneraient, pour des circonstances semblables à celles des expériences précédentes et avec des couples de même grandeur, une dépense moindre, c'est-à-dire une dépense de 3 cent. par élément et par heure; mais si l'on joint à cette dépense celle qui résulte de ce que l'on ne peut utiliser dans la pile l'acide nitrique au-dessous de 25° de l'aréomètre de Beaumé, l'usure plus grande du zinc, la perte en mercure, etc., on peut alors admettre comme nombre courant 4 cent. : ainsi le résultat précédent, qui a donné 5 cent. par heure, n'est pas exagéré.

« Nous devons dire que nous avions déjà obtenu un résultat analogue, il y a deux ans, en cherchant à nous rendre compte du prix de revient des matières employées pour l'éclairage électrique ayant servi aux expériences de démonstration pendant quinze leçons consécutives faites au Conser-

vatoire impérial des arts et métiers, et en faisant usage de quatre-vingts couples de Bunsen, petit modèle. Dans ces expériences, l'acide azotique au-dessous de 25° était rejeté et perdu.

« Ainsi l'on voit, en résumé, que le prix de 4 cent. par élément et par heure, et même de 5 cent., si l'on veut se couvrir de frais accessoires, peut être admis comme dépense quand la résistance à la conductibilité de la pile est moitié de celle de cette pile. Dans ce prix ne se trouvent pas compris l'usure des appareils et le montage de la pile ; l'on suppose, en outre, que les produits provenant des réactions chimiques ne peuvent être utilisés.

« On doit remarquer que cette évaluation de dépense n'a lieu qu'en estimant la consommation moyenne pendant plusieurs heures, ainsi que l'intensité lumineuse moyenne produite ; car, si l'on cherche dans les conditions des observations précédentes le prix de revient d'une intensité lumineuse déterminée au commencement et à la fin de l'expérience, on trouve :

	INTENSITÉ LUMINEUSE.	DÉPENSE des 60 ÉLÉMENTS PAR HEURE (estimation seule des produits consommés).	
		Pour les intensités lumineuses données par expérience.	Moyenne calculée et correspondante à une intensité égale à 350 bougies.
Au commencement de l'expérience.....	506 bougies.	2f 84	1f 96
Deux heures après ou à la fin de l'expérience.....	195	2 16	3 88
Moyenne.....	350	2 50	2 50

« Ainsi la dépense de la pile pour une intensité lumineuse donnée n'est pas la même au commencement et à la fin d'une expérience; cela résulte évidemment de la diminution dans l'intensité électrique des couples, c'est-à-dire du changement dans la composition des liquides qu'ils renferment. Si l'on pouvait, par un moyen quelconque, renouveler les liquides, l'intensité électrique resterait la même, et l'on n'observerait pas ces changements.

« Du reste, il est un résultat que l'on doit mentionner ici et qui facilite l'examen du prix de revient, lors de l'emploi d'une pile de Grove ou de Bunsen : si dans cette pile il est usé pour 1 franc de zinc, les autres matières employées (acides sulfurique, azotique et mercure) peuvent être évaluées à 1 fr. 50 c., de sorte que la dépense totale est de 2 fr. 50 c.

« Il est assez intéressant de mettre en regard les uns des autres les prix de revient d'un foyer lumineux ou d'une réunion de lumières provenant de différentes sources, en admettant l'intensité de 350 bougies, qui est la moyenne entre 506 et 195 bougies, ces deux derniers nombres étant les maxima et minima obtenus dans les déterminations expérimentales; on a alors :

SOURCES LUMINEUSES.	POIDS des MATIÈRES consommées par heure et pour une intensité lumineuse correspondante à une bougie stéarique.	PRIX de LA LUMIÈRE équivalente à 350 bougies par heure.	OBSERVATIONS.
Gaz de houille.....	15 lit.[1]	0f 80	Au prix de 0f 15 le m. cube.
Id.....	*Id.*	1 60	*Id.* 0 30 *id.* (prix de vente aux particuliers.
Huile essentielle légère de schiste...	4g 52	1 92	Expériences citées plus haut sans comprre la m.-d'œuvre.
Lumière électrique.	»	3 00	
Huile (huile de colza épurée).....	5 10	3 03	Expériences directes, le prix est compté 1f 70 le kilog.
Suif.....	10 55	6 30	*Id.* 1 70 *id.*
Bougie stéarique...	10 40	13 10	*Id.* 3 60 *id.*
Bougie de cire.....	8 26	16 20	*Id.* 5 60 *id.*

« On voit, d'après ces déterminations, qu'en n'ayant égard qu'au prix de revient des matières consommées et sans y comprendre la main-d'œuvre, à égalité de lumière, l'éclairage électrique, dans les conditions de celui que nous avons étudié, serait quatre fois plus cher que l'éclairage au gaz au prix de vente du gaz à la ville de Paris; seulement le double du prix quand on considère le prix de vente aux particuliers; il serait le même que celui de l'éclairage à l'huile et le quart de celui de l'éclairage aux bougies; mais, si l'on estimait la main-d'œuvre nécessaire pour surveiller les appareils, les préparer et renouveler les piles, etc., le prix augmenterait d'au moins moitié du nombre indiqué plus haut.

« Ces résultats pourraient varier si l'on se servait de piles

dont le nombre des éléments serait différent ou qui auraient une autre disposition; mais, comme habituellement l'on s'est servi des couples étudiés précédemment et que leur nombre a été compris entre 60 et 100, les conclusions précédentes peuvent s'appliquer aux expériences faites jusqu'ici sur l'éclairage électrique. Si l'on faisait usage de couples d'une plus grande dimension, la quantité de liquide renfermé étant plus grande, la résistance à la conductibilité varierait moins rapidement et les intensités lumineuses resteraient plus constantes. Le prix ne serait pas du tout le même, si l'on employait des piles d'une tout autre forme et en utilisant d'autres réactions chimiques que celles dont il est question ici.

«Dans ces déterminations expérimentales, on a été conduit à un résultat assez curieux : en mesurant la résistance à la conductibilité de l'arc voltaïque, c'est-à-dire en assimilant les matières incandescentes qui le composent et qui transmettent l'électricité à un conducteur métallique, on a trouvé que cette résistance est représentée par un nombre variant de 0,5 à 0,67 de la résistance à la conductibilité de la pile, et qu'il fallait rester entre ces limites pour que l'arc voltaïque fût produit dans de bonnes conditions. Or, l'on sait que l'on a le maximum d'effet utile magnétique ou calorique d'une pile lorsque la résistance à la conductibilité extérieure est égale à celle des couples; on voit donc que par tâtonnement on arrive à remplir les conditions que la théorie indique comme donnant l'action la plus énergique qu'une pile puisse produire.

« Il était intéressant de rapprocher les nombres indiqués precédemment de ceux que l'on obtiendrait si l'on évaluait quelle serait la force motrice à communiquer à une machine magnéto-électrique pour fournir un courant électrique capable de maintenir constant un arc voltaïque semblable à celui qui a servi aux études précédentes. Il est facile d'obte-

nir une valeur approchée en comparant les effets obtenus précédemment avec ceux qu'a donnés la machine magnéto-électrique qui a fonctionné, l'année passée, au Conservatoire impérial des arts et métiers[1]. Comme on a déterminé les intensités électriques données lorsque différentes forces motrices étaient appliquées à l'appareil, et que ces intensités ont été directement proportionnelles aux forces, si l'on se reporte à ces expériences, et que l'on suppose que la résistance à la conductibilité de la partie extérieure soit égale à celle du reste du circuit, comme dans les expériences actuelles, on trouve qu'il faudrait communiquer une force de 2 chev. 4 à cette machine magnéto-électrique pour donner un courant électrique capable de maintenir un arc lumineux éclairant comme trois cent cinquante bougies. Cette évaluation est relative seulement aux limites d'intensité du courant entre lesquelles nous avons opéré ; d'après cela, l'électricité obtenue de cette manière, mais en vue de la production de la lumière, serait la source de cet agent qui serait la moins coûteuse. Il n'est question, bien entendu, que de l'emploi des courants magnéto-électriques pour la lumière produite ; car pour d'autres applications la production ne se ferait pas dans les mêmes conditions économiques.

« Nous venons d'examiner comment on avait évalué le prix de revient de la lumière électrique ; mais il est bon de dire dans quelles circonstances elle peut être utilisée. Il est évident que les conditions mêmes de la production de l'arc voltaïque ne permettent pas de diviser la lumière comme l'exige l'éclairage public, afin de diminuer les ombres et d'obtenir un éclairage par lumière diffusée qui est celui que l'on doit préférer ; loin de là, l'arc voltaïque la concentre, et les difficultés qui se présentent, lorsqu'on cherche à obtenir deux ou plusieurs arcs avec le même courant et le

1. Voir le travail publié par M. Leroux. *Bibliothèque universelle de Genève*, octobre 1856.

même circuit, sont telles, que l'on doit renoncer à atteindre ce but. En effet, la somme des résistances à la conductibilité des arcs séparés devrait être égale à celle d'un arc unique, et quand on songe aux conditions à remplir pour régler la position d'un seul arc, à cause de la variation de résistance à la conductibilité de cet arc et du défaut d'homogénéité des charbons, on peut facilement comprendre qu'il devient d'autant plus difficile, si ce n'est impossible, de régler dans un même circuit deux ou plusieurs arcs qui sont alors beaucoup plus courts.

« Mais si, dans les circonstances actuelles, l'on ne doit pas songer à l'emploi de l'électricité pour l'éclairage public, on peut, avec avantage, l'utiliser pour des usages spéciaux ainsi qu'on l'a déjà fait ; il me suffira de citer l'éclairage des travaux de nuit, celui des travaux opérés sous l'eau ; les démonstrations dans les cours publics, etc.; il est même possible qu'il soit avantageux d'y avoir recours pour l'éclairage des galeries des mines, pour des signaux à bord des navires, et dans une foule de circonstances où il est nécessaire de produire, pendant un temps déterminé et plus ou moins court, une intensité lumineuse extrêmement vive. »

Progrès réalisés dans la production de la lumière électrique. — Le prix considérable de la lumière électrique n'est pas le seul obstacle qui s'oppose à la généralisation de son emploi dans les arts et l'industrie : le plus grand, selon moi, est son peu de fixité et les scintillations fâcheuses qui accompagnent d'une manière presque continue l'éclat qu'elle projette. Ces inconvénients ne proviennent pas seulement d'un défaut de perfection dans les régulateurs: ces appareils seraient-ils parfaits, ils se reproduiraient toujours, car leur cause est tout entière dans l'impureté des charbons entre lesquels se produit l'arc voltaïque. Ces charbons, en effet, renferment des silicates en proportion plus ou moins grande, et lorsque quelques grains de ces corps viennent à être fondus et vola-

tilisés, les conditions de conductibilité de l'arc voltaïque changent, et le mécanisme qui gouverne la marche progressive des charbons, au lieu d'agir régulièrement, procède par mouvements saccadés. Souvent même, à la suite de ces fusions, des fragments entiers de charbon se détachent et fournissent forcément une éclipse momentanée, car le vide qui s'est fait ne peut être comblé spontanément.

Pour éviter ces inconvénients, plusieurs inventeurs ont cherché à purifier les charbons des régulateurs, soit en les traitant par le chlore, soit en les plongeant préalablement, et pendant peu de temps, dans de la potasse en fusion; mais ils sont tombés dans une autre difficulté, peut-être encore plus préjudiciable que celle qu'ils voulaient éviter; car si, par suite de cette purification, la lumière produite avait acquis une fixité plus grande, l'arc voltaïque, foyer de cette lumière, devenu plus conducteur par la vaporisation des substances purifiantes restées forcément en excès dans les charbons, s'était considérablement allongé, et, partant, l'intensité lumineuse était grandement diminuée. L'allongement de l'arc voltaïque est, en effet, un des plus grands obstacles qui peuvent se présenter dans la lumière électrique, car il lui ôte *tout son pouvoir rayonnant*, et provoque autour du jet électrique une flamme rougeâtre qui, en rendant l'air conducteur dans le voisinage du charbon, diminue encore la résistance à la conductibilité apportée dans le circuit par la solution de continuité entre les charbons. Il arrive alors que la plus grande partie du courant traverse le circuit sans produire un développement calorifique capable de *porter instantanément au rouge blanc* les parcelles carbonées entraînées. De là diminution du pouvoir lumineux.

Cet allongement de l'étincelle peut, du reste, provenir de diverses causes, soit d'une tension trop grande de la pile ou du générateur d'électricité employé, soit des charbons, comme nous venons de le voir, soit de la manière dont le

régulateur est lui-même réglé. Plus le courant a de tension, et moins est énergique la force antagoniste de l'électro-aimant qui commande le régulateur ; plus les charbons acquièrent de tendance à s'écarter, plus le phénomène de la combustion se développe, et, partant, plus la lumière tend à s'affaiblir, du moins comparativement à ce que pourrait donner la force électrique mise en jeu. Pourvu que le courant ait assez de tension pour vaincre une solution de continuité de 3 à 4 millimètres (l'étincelle une fois produite), la pile, au point de vue de la lumière qu'elle produira, ne gagnera à être augmentée que dans le sens de la quantité. Par suite, la sensibilité du régulateur devra toujours être maintenue la plus grande possible par un serrage modéré du ressort antagoniste. Telles sont les conditions auxquelles il faut avoir égard pour avoir une bonne lumière, du moins en ce qui touche la pile et le régulateur. Quant aux charbons, la question est plus complexe, car il faut qu'ils soient purifiés, ainsi que nous l'avons vu, et pourtant il faut aussi qu'ils ne puissent produire, en s'échauffant, aucune évaporation conductrice. M. Jacquelain, préparateur de chimie à l'École centrale, vient de résoudre de la manière la plus complète le problème, en composant de toutes pièces des *charbons très-durs* de carbone pur. Avec de pareils charbons, une lumière électrique vacillante et terne, fournie par la machine magnéto-électrique des Invalides, a pu acquérir immédiatement, et sans autres modifications, un pouvoir éclairant double de ce qu'il était avec des charbons ordinaires, et une fixité qui ne le cède en rien à celle des lampes ordinaires. Cette fois, plus de flamme entre les charbons, plus de lueurs rougeâtres, plus de crépitations, et, par ce perfectionnement, M. Jacquelain se trouve avoir résolu à la fois le problème de la fixité de l'éclairage électrique et l'application des machines magnéto-électriques à ce genre d'éclairage. Je ne puis m'empêcher de reproduire ici une lettre que m'a écrite, au sujet de ces expériences,

M. Berlioz, directeur de la compagnie de l'usine des Invalides, homme positif, et qui s'était montré jusque-là peu enthousiaste des résultats produits par ces machines :

. . . . . .

« J'aurais désiré vous écrire plus tôt pour vous donner des nouvelles de la machine : elle va bien, parfaitement bien ; sa force augmente, et nous avons une *lumière admirable*. C'est là ce à quoi je tenais et ce que je voulais vous apprendre ; car c'est à vous, comme toujours, que nous devons cette circonstance si importante. Vous m'avez, en effet, engagé à aller voir M. Jacquelain pour son charbon de carbone pur, et ce charbon donne une *lumière fixe, sans flamme*, et d'un éclat bien remarquable. Je regrette que vous ne soyez pas ici, car vous avez été assez bon pour donner à notre machine des soins paternels. Ce soir, je fais de la lumière en présence de mon conseil de surveillance. Nous lisons une écriture très-fine à 60 mètres de distance, et nous lirions sans doute à près d'un kilomètre si l'espace nous l'avait permis. Nous avons aussi illuminé magnifiquement le dôme des Invalides, qui est à environ 300 mètres de notre appareil ; mais nous ferons bientôt, je l'espère, l'expérience sur la Seine, à bord d'un bateau à vapeur, ainsi que vous nous l'avez conseillé.

« Ainsi, avec notre machine remplaçant la pile de Volta, avec le charbon Jacquelain, avec un mécanisme régulateur adapté à des courants alternativement contraires, et avec un bon réflecteur, le problème de la lumière électrique à bord des navires en mer sera complétement résolu.

« Agréez, etc. BERLIOZ. »

Avant les bons résultats que nous venons de constater, M. Joseph, contre-maître de la compagnie *l'Alliance*, et auteur de nombreux perfectionnements apportés à la machine

en question, avait fait de nombreuses expériences sur la lumière produite avec différentes sortes de charbons. Il a essayé tour à tour les cokes, les diverses espèces d'anthracite, les graphites, les plombagines, les charbons de bois et de cornue, et il était arrivé à conclure que c'était le graphite plombaginé (corps dense et serré que l'on vend en Angleterre), combiné avec le charbon de cornue, l'un à un pôle du circuit, l'autre au second pôle, qui produisait les meilleurs résultats. Comme les courants étaient alternativement renversés, l'influence polaire était insignifiante par rapport à la position de ces organes conducteurs. Mais l'avantage résultait de leur opposition (charbon et graphite), car deux graphites produisaient un effet moindre.

Nouveaux régulateurs de lumière électrique. — Régulateur de MM. Marçais et Duboscq. — Bien que le régulateur de M. J. Duboscq, que nous avons décrit dans notre deuxième volume, soit d'une simplicité extrême et d'un maniement facile, plusieurs personnes, sans doute séduites par les descriptions élogieuses du régulateur sans engrenages de MM. Lacassagne et Thiers, ont reproché à M. Duboscq la complication apparente de son instrument, et l'ont engagé à le simplifier encore. Dans ce but, et aussi pour pouvoir abaisser le prix de ces sortes d'appareils, MM. J. Duboscq et Marçais ont cherché à résoudre le problème en se fondant sur le principe des lampes à modérateur. Ils sont parvenus par ce moyen à construire un nouvel instrument qui marche, à ce qu'il paraît, d'une manière tout à fait satisfaisante, et qui a l'immense avantage sur celui de MM. Lacassagne et Thiers d'être facilement transportable et de maintenir fixe le point lumineux.

Ce nouveau régulateur, comme une lampe ordinaire cylindrique, consiste dans un socle AB (fig. 16, pl. III) rempli d'huile jusqu'à une cloison soudée en C, et au dedans duquel se meut un piston D. Ce piston est pressé fortement de haut

en bas par un fort ressort-boudin R, et porte supérieurement une crémaillère terminée par une potence à laquelle se trouve adapté le porte-charbon supérieur H. Sur le bras vertical EG de cette potence, qui est carré, se meut une glissière EI qui soutient le porte-charbon inférieur J. A cette glissière est adaptée une grenouillette à losanges articulés FLMKNOP qui se meut autour d'un axe K, et dont le jeu est commandé par une cheville fixée sur la crémaillère et réagissant sur l'articulation P. Quant à l'axe K, il est fixé en dehors de la crémaillère sur une tige SQ vissée sur le socle AB. Il résulte de cette disposition que la crémaillère, en s'abaissant, réagit à la fois sur les deux porte-charbon, en abaissant l'un H, qui fait corps avec elle, et en relevant l'autre J par l'effet du redressement de la grenouillette ; mais comme les losanges de cette grenouillette sont de différente grandeur et calculés de manière que leurs côtés soient entre eux dans le rapport des différences d'usure des charbons, il arrive que quand le losange KNPO s'est ouvert d'une certaine quantité a, le losange KLFM s'est ouvert d'une quantité plus grande b, qui est, par rapport à a, comme l'usure du charbon positif est à l'usure du charbon négatif. Le point lumineux ne change donc point de place, et cette partie du problème se trouve résolue sous l'influence d'un seul mouvement mécanique qui dépend du piston D. Nous allons voir maintenant comment ce mouvement est mis en rapport avec l'intensité du courant qui fournit l'arc voltaïque.

Le fond du socle cylindrique AC, au lieu de correspondre à un tuyau ascensionnel montant à la mèche, comme dans les lampes ordinaires, communique avec un tube recourbé UT qui s'ouvre également à la partie supérieure du cylindre AC, mais qui présente en T un orifice muni d'une cloison en caoutchouc. Sur cette cloison appuie un tampon ou marteau adapté à un long levier TV, lequel est articulé à un autre levier VY qui porte l'armature X d'un électro-aimant tubulaire Z.

Sous l'influence du ressort R, le piston D tend à s'abaisser, mais il peut être retenu, ou libre d'effectuer sa descente, suivant que l'huile qui est au-dessous, peut trouver ou non une issue pour s'échapper. Tant que le tuyau UT est ouvert, cette issue est naturellement trouvée, et l'huile, après l'avoir traversée, retombe au-dessus du piston. Alors le piston s'abaisse avec une vitesse qui dépend de l'ouverture plus ou moins large de l'orifice d'écoulement. Mais quand le tampon T appuie sur la cloison de caoutchouc du tube UT, et cela par l'effet de la réaction électro-magnétique exercée par l'électro-aimant Z, ce conduit UT se trouve plus ou moins obstrué, suivant l'énergie plus ou moins grande de l'électro-aimant Z, et le mouvement du piston se trouve considérablement modéré. Comme l'énergie de l'électro-aimant Z dépend de celle du courant électrique qui produit la lumière, laquelle dépend de l'écartement plus ou moins grand des charbons, le mouvement du piston D se trouve, en définitive, mis en rapport avec l'usure plus ou moins prompte de ceux-ci, et, par suite, leur rapprochement s'effectue au fur et à mesure de cette usure.

L'armature X étant à vis comme celle des autres appareils de M. Duboscq, il est facile de régler la pression mécanique qui doit être exercée en T d'après l'énergie des courants employés pour la lumière.

Régulateur de M. Pascal, de Lyon. — M. Pascal a aussi voulu perfectionner le régulateur de MM. Lacassagne et Thiers en faisant réagir sur le flotteur qui soutient le porte-charbon inférieur dans cet appareil la force élastique du gaz résultant de la décomposition de l'eau par le courant. C'est donc en quelque sorte une combinaison du régulateur des courants et du régulateur de lumière de MM. Lacassagne et Thiers. M. Pascal prétend que cet appareil est très-simple et peut être fourni à bon marché; nous le désirons, mais nous n'avons guère de confiance dans son bon fonctionnement, et

c'est pourquoi nous ne nous arrêtons pas à en faire une description détaillée.

Régulateur de M. Harisson. — Pour atténuer les inconvénients de l'usure si prompte des charbons dans la lumière électrique, et obtenir la fixité du point lumineux, M. Harisson a proposé de remplacer le charbon positif (celui qui s'use le plus vite) par un cylindre de charbon tournant sous l'influence d'un mouvement d'horlogerie. De cette manière, le point où s'échange l'étincelle se trouve constamment déplacé sur le charbon positif, et l'usure de celui-ci ainsi répartie sur toute sa circonférence, est d'autant moins appréciable, que l'axe sur lequel il tourne est muni d'un pas de vis. Pour obtenir le rapprochement du charbon négatif au fur et à mesure de son usure, et de celle du charbon positif, M. Harisson adapte au-dessous du cylindre de charbon A, fig. 17, pl. III, une poulie B montée sur une tige verticale laquelle est tirée de bas en haut par une chaîne, sous l'influence du poids de la monture du second charbon C qui conserve sa forme de crayon. Toutefois, le défilement de cette chaîne, qui est enroulée sur la poulie et qui s'effectue sous l'influence même de la rotation du cylindre A avec lequel la poulie est en contact, peut être modifié par l'intervention d'un électro-aimant E qui, en réagissant sur une poulie de renvoi G, peut écarter cette chaîne à gauche ou à droite de sa position normale. Sous l'influence de la poulie B, le charbon négatif descend au fur et à mesure de l'usure du charbon circulaire, et par suite de la rotation de cette poulie qui déroule la chaîne, la course de ce charbon négatif est suffisante pour satisfaire à la fois à l'usure des deux charbons. Tant que le courant conserve la même intensité (celle qui a été réglée primitivement), le rapprochement des charbons s'effectue de la manière précédente; mais sitôt qu'il vient à faiblir ou à augmenter, l'électro-aimant réagit sur la chaîne en la repoussant à gauche ou à droite, ce qui pro-

duit son allongement ou son raccourcissement, et par suite un rapprochement ou un éloignement des charbons. Il est douteux qu'un pareil système puisse produire de bons effets; car plus est développée la surface du charbon sur laquelle on provoque l'étincelle, moins est grande la concentration de l'action calorifique au point où se produit l'arc voltaïque, et par conséquent moins est intense la lumière qui en résulte. D'un autre côté, la présence d'un gros cylindre devant cette lumière n'est pas favorable dans beaucoup des applications auxquelles on peut l'appliquer avantageusement. Le système de M. Harisson ne nous paraît donc pas avoir réalisé un progrès important, et nous attendons que l'expérience nous ait convaincu pour le recommander aux amateurs de l'électricité.

M. Harisson a encore imaginé une lampe pour la lumière électrique, dite à mercure, et qui fournit l'arc voltaïque à la surface même de ce liquide métallique, au moyen d'immersions successives et rapides de crayons de charbon mus par un système électro-magnétique. Cet appareil se compose essentiellement d'un tube transparent de verre communiquant avec un réservoir rempli de mercure par deux tuyaux, dont l'un, placé à la partie supérieure du tube, sert de condenseur à la vapeur de mercure produite par la lumière électrique, et dont l'autre sert à donner accès au mercure du réservoir dans le tube. Au-dessus de ce liquide se trouvent placés deux crayons de charbon dont les supports, glissant dans leur douille adaptée au couvercle du tube, se trouvent reliés à l'armature d'un électro-aimant par une bascule. Enfin un rhéotome ou interrupteur, mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie, réagit sur l'électro-aimant précédent, de manière à en faire vibrer l'armature et par conséquent à produire les alternatives d'immersions des charbons nécessaires à la production de la lumière. Suivant M. Harisson, on aurait pour ce genre d'appareils beaucoup d'avantage

à employer des crayons de charbon creux ou tubulaires, à la condition, toutefois, de faire du mercure le pôle positif, et des charbons le pôle négatif. Ce système, ajoute l'auteur, serait particulièrement applicable à la lumière électrique qui pourrait résulter des courants d'induction. Alors les oscillations des charbons pourraient être produites sous l'influence du courant inducteur interrompu par le rhéotome vibrant.

Un inventeur, dont le nom nous échappe en ce moment, a voulu perfectionner le système de M. Harisson en employant, pour organe excitateur de la lumière électrique, deux disques de charbon taillés angulairement sur leur circonférence et opposés l'un à l'autre dans deux plans rectangulaires. L'inventeur croit, par ce moyen, dégager complétement le point lumineux et le placer dans les mêmes conditions qu'avec des crayons de charbon. Ces disques de charbon, comme dans le système précédent, tourneraient d'ailleurs lentement au moyen d'un mécanisme d'horlogerie qui les rapprocherait en même temps d'une quantité constante. Pour éviter les contacts qui pourraient résulter de l'inégalité d'usure des différents points de la circonférence des disques, et pour maintenir ceux-ci taillés angulairement, l'inventeur dont nous parlons fait passer ces disques devant un système de couteaux qui les taillent à mesure qu'ils tournent. Comme le mouvement de rapprochement des charbons est un peu plus considérable que la quantité moyenne dont ils s'usent, les couteaux opèrent continuellement cette taille et les maintiennent ainsi à une distance rigoureuse.

Régulateur pour la lumière électrique des machines d'induction. — Nous avons vu, page 40, que, pour éviter les déperditions de courant à travers le commutateur des machines magnéto-électriques de grande puissance, on avait été conduit à supprimer entièrement ce commutateur. Les résultats, ainsi qu'il a été dit plus haut, ont été des plus satisfaisants au point de vue de la lumière produite, mais il

n'en a pas été de même à l'égard de la régularisation de cette lumière. On conçoit en effet facilement que les courants induits issus de ces machines n'étant plus redressés par suite de la suppression du commutateur, leur effet magnétique sur l'électro-aimant des régulateurs de lumière devenait nul, et par conséquent le rapprochement des charbons au fur et mesure de leur usure ne pouvait s'opérer facilement. On a donc dû se préoccuper d'un régulateur particulier pour ce cas spécial de la lumière électrique, et c'est M. Breguet qui a été chargé par la compagnie de l'usine des Invalides de la construction de cet appareil.

Comme la tension des courants électriques issus des machines d'induction est assez considérable et que l'usure des charbons est uniforme, puisque les courants sont alternativement renversés, la construction de ce régulateur ne présente rien de bien difficile, d'autant plus que le charbon de M. Jaquelain est parfaitement homogène et ne fournit pas de fusions qui le fassent tomber par petits morceaux, comme cela arrive avec les charbons ordinaires. Un simple mouvement d'horlogerie, muni d'un régulateur de vitesse (soit à ailettes, soit à force centrifuge), et agissant sur les porte-charbon de manière à les faire avancer progressivement l'un vers l'autre, suffit pour obtenir dans le cas qui nous occupe un régulateur de lumière électrique convenable, et le règlement de cet appareil peut être rendu d'autant plus facile qu'un cadran divisé, en rapport avec le régulateur de vitesse, peut indiquer les limites entre lesquelles s'effectue l'usure des charbons et, par suite, les limites des vitesses qu'il faut donner à l'appareil. Toutefois, on devra toujours tenir cette vitesse un peu au-dessous de sa valeur réelle, car dans le cas où les charbons viendraient un peu à s'éloigner, le courant aurait assez de tension pour vaincre la solution de continuité, tandis que dans le cas du contact de ces charbons la lumière se trouverait forcément éteinte.

Régulateur de M. V. Serrin. — Le grand inconvénient de tous les régulateurs que nous avons étudiés et qui a empêché jusqu'à présent ces appareils de marcher d'eux-mêmes sans la présence d'un surveillant, est de ne pouvoir fournir le recul des charbons quand, par une circonstance ou par une autre, ceux-ci se trouvent rapprochés au contact. Il en résulte, en effet, une extinction de lumière qui ne peut cesser que quand on opère à la main la séparation des charbons. Or, il est facile de comprendre combien cette surveillance continue est préjudiciable dans une foule de circonstances où non-seulement la présence perpétuelle d'un homme serait difficile à obtenir, mais encore où il serait impossible même d'y avoir recours. On a bien cherché des moyens plus ou moins compliqués pour obtenir automatiquement ce recul, mais ils n'ont que très-médiocrement réussi. Ainsi, le système imaginé par M. J. Duboscq, que nous avons décrit page 224, tome III, de notre *Exposé,* a été abandonné et n'est appliqué à aucun des régulateurs que ce constructeur fournit; le régulateur d'Archereau, dans lequel ce recul semblerait devoir être obtenu par suite de l'attraction magnétique opposée au contre-poids qui fait avancer les charbons, n'a produit sous ce rapport aucun résultat avantageux parce que les variations que pouvait subir cette force magnétique n'étaient pas assez sensibles pour satisfaire à la fois au maintien d'un écartement donné des charbons et à un décollage toujours assez résistant de ceux-ci. Les moyens imaginés par MM. Jaspar, Pascal, de Lyon, et autres, n'ont pas mieux réussi, et le système de M. Regnard, sans doute très-ingénieux, n'a pas même été exécuté. M. V. Serrin, après une étude approfondie de la question et de nombreux essais, a été plus heureux et semble avoir résolu complétement le problème dans le régulateur qu'il vient de faire breveter, et que nous représentons ci-dessous.

Ce système, qui peut d'ailleurs, comme celui de J. Du-

boscq, maintenir fixe le point lumineux, se compose de

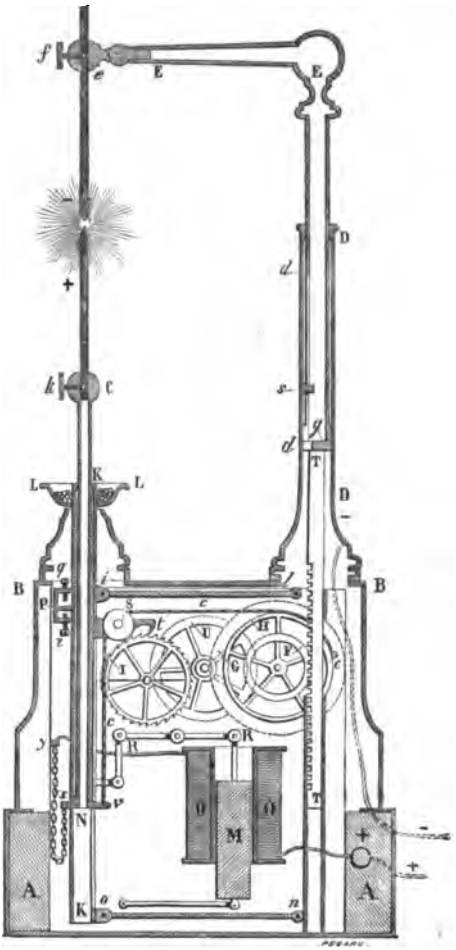


Fig. 68.

deux mécanismes reliés l'un à l'autre, mais exerçant chacun une action propre sur la marche des charbons ; l'un de ces

mécanismes, en rapport direct avec le système électro-magnétique OM, constitue *un système oscillant* composé d'un tube K K, terminé par une coupe LL, et articulé à deux bras parallèles *li*, *no*, pivotant en *l* et *n*. C'est le *mécanisme sensible* de l'appareil. L'autre mécanisme, que nous appellerons mécanisme du défilage, et qui est relié aux porte-charbon, est constitué par les rouages F, G, U, I, la crémaillère TT et une chaîne de traction *ccc*. Le premier mécanisme, tout en agissant directement sur le porte-charbon inférieur CN, comme nous allons le voir, commande l'action du second mécanisme, et celui-ci réalise définitivement l'effet mécanique commencé par le premier en régularisant le rapprochement des charbons suivant leur usure.

A cet effet, le tube KK du mécanisme oscillant porte un crochet d'encliquetage *t*, qui réagit sur les rouages du mécanisme du défilage, un butoir P oscillant entre deux vis rigides *q*, *r*, et un bras auquel est articulée une petite bielle qui la relie, par la bascule RR, avec le cylindre de fer doux M du système magnétique. L'action de ce système est fondée, comme on le devine aisément par l'inspection de la figure, sur les effets d'attraction échangés entre une hélice magnétisante et un cylindre de fer doux mobile à son intérieur. Par conséquent, si ce cylindre de fer doux M ressort d'un tiers environ hors de la bobine OO, l'action du courant passant à travers cette bobine aura pour effet l'ascension de la masse M à l'intérieur de celle-ci, si toutefois le poids de cette masse M n'est pas trop considérable. Or, si l'on considère que la bascule RR constitue une véritable balance dont un des bras est muni d'un plateau à poids représenté par la coupe LL, et dont l'autre est chargé de la masse M, on comprendra facilement qu'en chargeant plus ou moins la coupe LL, on peut arriver à rendre la masse M aussi légère qu'on le désire, et par conséquent il devient possible de régler à volonté la sensibilité de l'appareil ; l'action de la force magné-

tique et des contre-poids placés en LL n'est d'ailleurs nullement gênée; car le tube KK oscille librement autour des points *l* et *n*, et la masse M est conduite elle-même par un bras articulé parallèle à la bascule RR; toutefois, pour des raisons que nous développerons à l'instant, cette oscillation est limitée à 4 millimètres, et c'est pour obtenir cette limite de course qu'a été adapté au tube KK le butoir P.

Les rouages du mécanisme du défilage ont pour organe moteur le poids du porte-charbon *f*ET et de la crémaillère TT, avec laquelle engrène la roue F montée sur le même axe que la roue G. Celle-ci porte une poulie H, dont le diamètre est à celui de la roue F comme 2 est à 1, c'est-à-dire dans le rapport des usures différentes des deux charbons. Sur cette poulie H est fixée l'extrémité de la chaîne *ccc*, à laquelle est suspendu le porte-charbon NC par l'intermédiaire d'un appendice *v*, qui se meut dans une rainure pratiquée dans le tube KK. Cet appendice, en se continuant circulairement autour de ce dernier tube, porte en *x* une chaîne en rapport électrique avec la bobine OO, et qui exerce, en outre de ses fonctions d'organe conducteur, une action mécanique dont nous apprécierons plus tard l'importance. Quant aux roues U et I, elles ont été introduites, ainsi qu'un volant à ailettes monté sur l'axe de la roue I, pour tempérer la vitesse de chute de la crémaillère TT, et servir d'embrayage au mouvement résultant de cette chute.

Inutile de dire que le tube DD, dans lequel se meut le porte-charbon supérieur, est isolé de la cage BB de l'appareil par un disque d'ivoire adapté sous sa base, que la crémaillère TT est également isolée du porte-charbon supérieur par un bouchon d'ivoire *g*; enfin que le pôle négatif est mis en rapport avec ce porte-charbon supérieur par la colonne DD. Voici maintenant quel est le jeu de ce régulateur.

Avant de fonctionner, l'appareil de M. Serrin, contrairement aux autres régulateurs, est disposé de manière que les char-

bons soient en conctact. C'est du reste la disposition qui résulte de son inaction : au moment où le circuit est complété à travers l'appareil, soit par l'attache du rhéophore positif à la borne A, soit à distance, la bobine OO devient active (au maximun de force) car le courant passe alors librement à travers les deux charbons; sous son influence la masse M est soulevée et par suite le tube KK, du système oscillant, se trouve abaissé jusqu'à ce que le butoir P vienne rencontrer la vis *r*. En même temps le crochet d'encliquetage *t* s'engage entre deux dents de la roue à rochet I, et le porte-charbon CN_2 qui est adapté à frottement légèrement dur dans le tube KK, se trouve abaissé. Les charbons se trouvent donc forcément séparés et ne peuvent pas se rapprocher immédiatement par le défilage des rouages H, U, I, car ceux-ci se trouvent alors embrayés par le crochet *t*; la lumière électrique se trouve donc produite automatiquement entre les charbons qui commencent à s'user. Mais par suite de l'écartement des charbons, l'intensité du courant à travers la bobine OO se trouve avoir diminué, et l'action qu'elle exerce sur le cylindre M ayant diminué également, celui-ci s'abaisse légèrement de telle sorte que le butoir P abandonne la vis *r*, pour osciller entre les deux vis et prendre son équilibre dans une position à peu près intermédiaire entre elles. De ce petit mouvement d'avance du charbon inférieur est résulté que le crochet *t*, d'abord enfoncé au fond de la dent du rochet contre lequel il était buté, s'est trouvé soulevé et ne maintient plus les rouages que par l'extrémité de cette dent, ainsi qu'on le voit sur la figure. Cette position de l'appareil est celle qu'il conserve dans sa marche normale, dans les moments où la distance entre les charbons est ce qu'elle doit être, c'est-à-dire environ 4 ou 5 millimètres. Lorsque cette usure augmente, la force de la bobine OO diminuant encore, le système oscillant s'affaisse, et le tube KK se trouve légèrement soulevé, de telle sorte que le butoir P, au lieu d'osciller entre les vis *q*

et r, vient rencontrer la vis q. Mais alors le crochet t se trouve avoir échappé complétement la dent du rochet avec laquelle il n'était en prise que par la pointe et le rouage défile, en faisant monter d'une part le porte-charbon CN, de l'autre en laissant s'abaisser le porte-charbon FET. Comme le mouvement accompli par ce dernier est par rapport à l'autre dans le rapport de 1 à 2, ce double rapprochement n'a pas changé la position du point lumineux, qui reste par conséquent fixe. Mais pendant que ces mouvements s'accomplissent, le courant a repris plus d'intensité à travers la bobine OO, la masse M se trouve de nouveau soulevée, et le tube KK en s'abaissant provoque un nouvel arrêt de la roue I ; le butoir P oscille de nouveau entre les vis q et r, et le mouvement des porte-charbon est arrêté jusqu'à ce qu'une nouvelle usure provoque un nouveau dégagement des rouages suivi d'un nouvel arrêt, et ainsi de suite jusqu'à l'entière usure des charbons.

C'est ici l'occasion de parler du rôle mécanique de la chaîne xy. Dans un mécanisme aussi sensible que celui de l'appareil dont nous parlons, les poids des différents éléments qui y entrent ne laissent pas que d'exercer une certaine influence sur la régularité de sa marche. Si ces poids viennent donc à varier, cette marche peut se trouver, sinon compromise, du moins rendue irrégulière. Or les charbons en s'usant varient nécessairement de poids, et c'est pour compenser la perte de poids provenant de cette usure que M. Serrin a adapté à son appareil la chaîne ou plutôt les chaînes dont nous parlons. On comprend en effet que quand le porte-charbon CN est au point le plus bas de sa course, c'est-à-dire en K, la chaîne n'appuyant que sur le point d'attache y, ne charge pas x; mais à mesure que ce porte-charbon s'élève, le poids de cette chaîne se répartit entre x et y, et quand CN est arrivé à son point extrême d'ascension, il porte à moitié sur x. Or comme le poids de la chaîne en question est double de celui des charbons, il arrive que la perte de poids

du porte-charbon CN par l'usure du charbon se trouve compensée par la plus grande pesanteur qui résulte de la suspension de la chaîne.

Par sa disposition, le régulateur de M. Serrin peut être réglé très-facilement, suivant l'intensité de la pile employée, de manière à ne fournir jamais qu'un écartement très-faible entre les charbons. En effet, comme ce réglage dépend de l'excès de poids de la masse M sur le contre-poids que l'on place dans la coupe LL, il suffit de faire une fois pour toutes des expériences avec une pile dont on fait varier l'intensité, pour savoir quel contre-poids il faut placer dans la soucoupe L, pour correspondre à un nombre déterminé d'éléments. Du reste, il est à remarquer que cette précaution n'est utile que pour maintenir l'éclat de la lumière, car l'appareil peut toujours fonctionner dès lors que la masse M n'a qu'un petit excès de poids sur le contre-poids placé en L.

Comme détails d'exécutions, nous ferons remarquer, dans l'appareil de M. Serrin, que les charbons sont fixés à leur porte-charbon au moyen de vis de pression adaptées à de petites sphères métalliques creusées d'un trou de part en part, ce qui rend facile leur remplacement et permet de les placer dans l'appareil sans qu'on soit obligé de les raccourcir. Afin que le charbon supérieur puisse être placé exactement au-dessus du charbon inférieur, la sphère du porte-charbon supérieur tourne dans le plan des porte-charbons au moyen d'une charnière, et dans le plan perpendiculaire à ce plan au moyen d'un tourillon engagé dans une douille. Ce porte-charbon supérieur peut aussi être facilement retiré de l'appareil, car il n'est pas fixé à la crémaillère TT, et le guide *s* qui le dirige, traversant la rainure *dd*, peut s'échapper à travers le bouchon d'ivoire en *d*. Enfin, toute l'enveloppe du mécanisme est montée sur une couronne circulaire de bois AA, qui forme le socle de l'appareil.

D'après ce qui précède, on peut déduire :

« 1° Que, dans l'appareil de M. Serrin, les charbons sont forcément en contact lorsque le circuit est ouvert;

« 2° Qu'en fermant le circuit, ce contact permet le passage de l'électricité, laquelle a pour effet la formation certaine et immédiate de l'arc par l'écart automatique des charbons;

« 3° Que cet écart s'alterne ensuite en temps opportun avec leur rapprochement de façon à assurer la continuité et la régularité de la lumière;

« 4° Et qu'enfin le point lumineux est fixe puisque les charbons marchent l'un vers l'autre dans le rapport de leur usure. »

« Les première et seconde propriétés combinées pourraient être, dit M. Serrin, utilisées avantageusement pour l'*éclairage des phares à éclipses;* un interrupteur à mouvement d'horlogerie romprait ou rétablirait le circuit de manière à obtenir des intermittences déterminées qu'on pourrait varier selon les circonstances.

« On pourrait également former des *signaux télégraphiques* analogues à ceux de l'alphabet Morse.

« Ou bien encore envoyer la lumière *alternativement* à plusieurs appareils répartis sur *divers points*.

« En un mot, cette propriété de pouvoir former et supprimer l'arc à distance pourrait trouver de nombreuses applications.

« Les seconde et troisième propriétés montrent qu'il n'est pas nécessaire de *toucher à l'appareil* pour produire la lumière. D'un autre côté, l'on sait que la lumière électrique n'a pas besoin d'air pour s'alimenter puisqu'on la produit dans le vide. Or, ces avantages permettent de *renfermer* ce système de régulateur dans un globe où le vide serait fait, et on *réaliserait* ainsi l'idée émise et déjà essayée par plusieurs savants d'appliquer la lumière électrique à l'éclairage des mines dans lesquelles le grisou se forme.

« Ces mêmes propriétés pourraient également être appliquées à la *divisibilité* de la lumière électrique.

« La quatrième propriété, associée aux autres, permet l'application de ce genre de régulateur aux phares à lumière permanente, aux expériences d'optique, de physique, à la photographie, etc.

« On peut également adapter un simple réflecteur à cet appareil afin de pouvoir concentrer la lumière sur un point déterminé comme pour l'éclairage d'une place, d'une rue, d'un atelier, etc.

« Enfin, le principe de ce régulateur, sa facile manœuvre, sa forme et ses dimensions restreintes permettent d'en généraliser l'application. »

Régulateur de M. Regnard. — M. Regnard s'est imaginé d'appliquer le principe de son galvanométrographe, que nous avons décrit page 459, à la construction d'un régulateur de lumière électrique établi dans le même but que celui de M. Serrin. On comprend, en effet, que puisque cet appareil permet à un style traçant de suivre tous les mouvements de l'aiguille aimantée d'un galvanomètre, à plus forte raison un charbon libre dans sa marche peut-il suivre ces mêmes mouvements et par conséquent s'avancer vers un second charbon quand l'arc voltaïque, échangé entre eux, s'est suffisamment allongé pour affaiblir le courant traversant l'appareil. On comprend seulement que d'après la nature même de l'appareil, l'organe régulateur doit être disposé de manière à être peu sensible. En conséquence, l'aiguille aimantée du galvanométrographe doit être remplacée par un barreau aimanté pivotant sur un axe, et l'action d'un ressort de rappel doit être substituée à celle du magnétisme terrestre contre laquelle lutte l'influence électrique dans ces sortes d'appareils. Pour qu'on puisse bien apprécier cette influence, le cercle gradué des boussoles de sinus est rendu à

l'appareil, et c'est sur lui que se trouvent adaptés les deux contacts destinés à réagir sur les électro-aimants du mécanisme moteur.

Comme on l'a déjà compris, un des charbons est fixe dans le système de Regnard, et l'autre est gouverné par la crémaillère ou vis micrométrique qui, dans le galvanométrographe, conduit le style. Seulement, pour rendre les mouvements plus doux et plus courts, plusieurs rouages sont interposés entre la crémaillère et la roue motrice sur laquelle réagissent les électro-aimants. On comprend facilement que cette roue, suivant les mouvements dirigés par le galvanomètre, réglera toujours l'écartement des charbons en les ramenant automatiquement à la distance voulue; car, suivant que le courant sera plus ou moins fort par rapport à l'intensité électrique déterminée pour le jeu de l'appareil, l'un ou l'autre des deux électro-aimants du mécanisme moteur sera mis en action et provoquera une ascension ou une descente du charbon mobile. La balance rhéométrique, que nous avons décrite page 162, peut être substituée, ainsi que nous l'avons vu, à la boussole des sinus comme organe régulateur dans l'appareil précédent. Il suffit pour cela de mettre les vis butoirs qui limitent les oscillations du fléau de la balance en rapport avec le circuit des électro-aimants du mécanisme moteur; quand le courant est trop faible, un contact s'effectue entre ce fléau et le butoir supérieur, et le mécanisme moteur fait avancer le porte-charbon inférieur. Quand, au contraire, le courant est trop fort, le contact a lieu avec le butoir inférieur, et l'éloignement des deux charbons se manifeste.

Fractionnement de la lumière électrique (prétendue merveilleuse découverte). — Tous les journaux du commencement de l'année 1858 retentissaient d'une soi-disant merveilleuse découverte qui résolvait d'une manière définitive le problème si difficile de l'éclairage électrique. On ne donnait, il est vrai,

aucuns détails sur cette merveille parce que, disait-on, les brevets n'étaient pas encore pris partout, mais on donnait, en revanche, les résultats d'expériences auxquelles avait assisté M. Jobard, l'illustre directeur du *Musée industriel* de Bruxelles. Depuis cette époque, nous n'avons plus entendu parler de cette découverte, et nous avons bien peur qu'elle ne soit de la nature de celles qui nous arrivent de temps à autre par les journaux d'Amérique. Cependant, en raison de son patronnage, nous patienterons encore avant de désespérer, et nous reproduirons en attendant la note de M. Jobard à ce sujet :

« On sait, dit M. Jobard, que l'arc lumineux produit entre deux charbons ne peut donner qu'un foyer très-intense, très-instable, très-désagréable et très-coûteux. Un jeune chimiste, physicien, mécanicien et praticien tout à la fois, M. de Changy, très au courant des découvertes et des instruments nouveaux, vient de résoudre le problème de la divisibilité du courant galvanique.

« C'est en sortant de son laboratoire, où il travaille seul depuis six ans, que je viens donner un rapide aperçu de ce que j'y ai vu, c'est-à-dire une pile de 12 éléments Bunsen, perfectionnée par lui, produisant un arc lumineux constant, sans intermittence et sans crépitation, entre deux charbons rapprochés par un régulateur de son invention, le plus parfait et le plus simple que je connaisse; de plus une douzaine de petites lampes de mineur mobiles sur des tringles ou des fils de cuivre, dont il peut à volonté allumer ou éteindre l'une ou l'autre, ou toutes ensemble, sans que l'intensité de la lumière augmente ou diminue par l'extinction des lampes voisines. Ces lampes, contenues dans des tubes de verre hermétiquement fermés, sont destinées à l'éclairage des mines à grisou, aussi bien qu'aux réverbères des rues, qui s'allumeraient et s'éteindraient tous dans toute une ville en ouvrant ou fermant le circuit. Cette lumière est blanche

et pure comme celle du gaz Gillard, avec laquelle elle a ce seul point de contact que c'est l'incandescence du platine qui la produit. Les tuyaux de conduite de gaz seraient alors remplacés par de simples fils et ne pourraient occasionner ni explosions, ni incendies, ni mauvaises odeurs.

« Tous les essais de production de la lumière électrique, par l'incandescence du platine, n'ont pu aboutir jusqu'ici, parce que les fils se fondaient à défaut d'un *régulateur diviseur* du courant, et c'est ce problème que M. de Changy a résolu sans reste; il estime que cette lumière coûtera moitié moins que celle du gaz. Une lampe placée au sommet des mâts de navire constituera un signal permanent, qui peut durer plus de six mois sans qu'on ait besoin de changer le platine; si on en place plusieurs dans des tubes de verre coloré, comme on peut les éteindre ou les allumer rapidement d'en bas, rien n'est plus aisé que d'en former un télégraphe nocturne. Quant aux phares de côtes, on peut donner au foyer une telle amplitude que sa portée lumineuse dépassera celle de tous les luminaires connus jusqu'ici.

« J'ai vu également une ampoule lumineuse en verre épais, que l'on peut immerger à des profondeurs considérables, sans qu'aucun mouvement ou bouleversement puisse l'éteindre. Elle a déjà été essayée en rivière, et a servi à prendre des poissons qui sont attirés et non effrayés, comme on le craignait, par la lumière. Il est probable que, dans un temps donné, la mer inépuisable nourrira la terre, et que les pêches miraculeuses ne le seront plus.

« J'ai la conviction, dit M. Jobard en terminant, que je n'ai pas été dupe d'une illusion, malgré mon étonnement de voir une lampe s'allumer dans le creux de ma main, et rester allumée en la mettant dans ma poche, avec mon mouchoir par dessus. »

Expériences nouvelles de lumière électrique. — MM. Lacassagne et Thiers, dont nous avons exposé le système d'éclai-

rage électrique dans le troisième volume de l'*Exposé*, nous ont reproché beaucoup d'avoir montré de la partialité à l'égard de leur régulateur et des expériences qu'ils ont entreprises pour en montrer le bon effet.

N'étant pas nous-même inventeur d'appareils de lumière électrique et n'ayant jamais été en rapport avec ces messieurs, nous ne voyons pas trop, quant au fond, les motifs de cette accusation. Mais si par ces mots *partialité, idées préconçues, etc.*, on a voulu dire que nous avions montré, contrairement à une foule de journalistes, une certaine défiance devant les essais qui ont eu lieu, nous avouerons en toute franchise que généralement les inventions tambourinées avec retentissement et accompagnées de commentaires plus ou moins inexacts, nous rendent naturellement défiant au lieu d'exciter notre enthousiasme. Il en est de cela comme d'une jolie femme dont on a exagéré la beauté avant qu'elle se soit montrée. Sans doute, bon nombre de moutons de Panurge se laissent prendre aux annonces pompeuses, mais les hommes sérieux se maintiennent généralement sur la réserve.

Quoi qu'il en soit, pour montrer à MM. Lacassagne et Thiers que nous n'avons pas de parti pris contre eux, nous allons reproduire ce qu'ont dit plusieurs journaux des dernières expériences qu'ils ont faites à Lyon, à Toulon et au Creuzot.

« MM. Lacassagne et Thiers, dit le *Cosmos*, ont fait à Lyon, pendant la durée du mois de mars 1857, de sept à onze heures du soir, des essais de leur éclairage électrique dans la grande rue Impériale. Deux appareils installés aux extrémités de la rue, sur deux croisées des étages supérieurs des maisons qui forment les encoignures, croisaient leurs rayons au milieu de la rue. Tous les journaux de Lyon sont unanimes à affirmer que ces essais ont parfaitement réussi, que les appareils ont fonctionné de la manière la plus régulière

sans diminuer sensiblement d'éclat et sans s'éteindre alors même que le vent était assez violent. Dans les dernières soirées d'essais, on avait obtenu que les reverbères à gaz qui éclairent ordinairement la rue ne fussent pas allumés, que l'éclairage électrique fît seul les frais d'illumination, et il est resté constant qu'ils suffisaient parfaitement. Les deux lampes réunies donnaient donc la même lumière que les trente-cinq ou quarante becs de gaz dressés sur ce parcours de 400 à 500 mètres. Ce n'était cependant qu'une installation provisoire, et il est hors de doute que, pour produire tout son effet, pour ne pas éblouir et fatiguer les regards, la lumière électrique devrait tomber d'une hauteur beaucoup plus grande, refléchie et diffusée par de larges abat-jour. N'importe, les essais ont atteint leur but, et ils font honneur à MM. Lacassagne et Thiers. »

Depuis cette époque, de nouvelles expériences ont eu lieu à Toulon; on a pu éclairer, à ce qu'il paraît, splendidement la rade lors du passage du grand-duc Constantin, et le résultat en a été tellement satisfaisant (d'après *l'Ami des Sciences*) que le ministre de la marine a commandé à MM. Lacassagne et Thiers plusieurs appareils pour le port de Brest.

Du reste, nous voyons avec plaisir que les applications de la lumière électrique à l'éclairage des grands ateliers se multiplient. Ainsi, depuis 15 mois, l'usine du Creuzot, à Châlons, en a fait un système d'éclairage presque habituel, grâce à l'heureuse initiative de M. Monnier, et ce sont encore les appareils de MM. Lacassagne et Thiers qui se trouvent employés. Voici comment le *Courrier de Saône-et-Loire* du 31 octobre 1857 parle de ces expériences :

« Les expériences d'éclairage électrique des chantiers et ateliers du Creuzot se continuent et prennent un caractère d'application permanente. Il n'est plus douteux qu'on ne réalise d'une manière avantageuse ce problème, puisque l'appareil Thiers et Lacassagne réunit toutes les conditions d'inten-

sité, de fixité et de régularité désirables. Les essais qui se prolongent n'ont plus pour objet que de déterminer la position la plus convenable à donner aux lampes et aux réflecteurs... Les inventeurs doivent s'estimer heureux, après tant de travaux, de rencontrer dans l'industrie des hommes d'intelligence assez éclairés, de volonté assez forte pour ne pas hésiter à prendre l'initiative d'applications industrielles, initiative si rare en France, où une timidité exagérée s'oppose tant à la mise en pratique des plus belles découvertes. Ce sera une gloire pour l'administration du Creuzot, célèbre déjà par tant d'initiatives et de progrès heureux, que d'avoir encouragé cette première application. Chaque nuit, au moment où les ouvriers quittent les travaux, on projette sur la Saône, à l'endroit où ils doivent la traverser, le jet lumineux d'une des lampes qui éclairent le chantier. L'autre soir, à l'instant où le bateau à vapeur de Lyon virait de bord pour aborder, manœuvre toujours difficile et souvent dangereuse, on l'a puissamment aidé en l'inondant de lumière. Aucun procédé d'éclairage n'est aussi rapidement allumé, puisqu'il suffit de fermer le courant pour faire jaillir la lumière; aussi portatif, puisqu'un seul homme sur un chariot roulant peut traîner sans peine la pile et la lampe, et l'installer partout où besoin est; aussi puissant, puisqu'une seule lampe équivaut à plusieurs centaines de bougies. Quelles ressources n'offrira donc pas un semblable appareil dans les incendies, les travaux d'urgence des ponts et chaussées, du génie militaire en campagne, par les temps brumeux où les abordages sont si fréquents et causent de si grands désastres! »

Au collége Stanislas, on a aussi éclairé par ce moyen une grande cour où s'étaient réunies un millier de personnes à l'occasion d'une soirée littéraire. Cette fois c'était M. Duboscq qui avait établi là ses appareils. Le foyer lumineux, élevé à trois mètres au-dessus du sol, a projeté sans intermittence sensible une lumière douce et brillante qui permettait de lire

à une distance de trente mètres. Placé derrière le public, ce foyer n'incommodait personne par son éclat.

Le *Toulonnais* rend compte en ces termes d'une expérience qui vient d'être faite à bord du vaisseau l'*Eylau*, avec une lampe électrique disposée pour pouvoir être descendue sous l'eau : « La lampe a été descendue, dit-il, dans l'eau à un mètre de profondeur, et le diamètre d'éclairage qu'elle projetait permettait de voir comme en plein jour les feuilles de cuivre, les rivures et les joints de la doublure du navire.

« La lampe a été ensuite descendue à huit mètres de profondeur, et elle n'a cessé de *brûler* tout le temps de l'expérience, qui a duré deux heures et demie.

« Avec le secours de cette lampe, on peut facilement opérer à bord d'un vaisseau toutes les petites réparations, et principalement débarrasser l'hélice d'un cordage ou des algues qui pourraient s'y enrouler. »

Applications de la lumière électrique. — Nous avons consacré, dans le troisième volume de notre *Exposé*, un long article aux applications de la lumière électrique. Quelques-unes ont été réalisées; mais la plupart des autres n'existent encore qu'à l'état de projet, et, pour des raisons plus ou moins mauvaises, on se refuse à leur emploi. Parmi celles-ci sont les phares électriques, dont l'importance saute pourtant aux yeux. Eu égard à l'importance de cette application si mal encore appréciée par les ingénieurs, nous croyons intéressant de reproduire ici un article de M. L. Petitpierre-Pellion, ingénieur des mines, inséré dans le *Salut public* de Lyon :

« On s'est beaucoup occupé, depuis quelque temps, de l'éclairage par l'électricité ; nous-même encore, il y a peu de jours, nous avons décrit les expériences intéressantes qui viennent de s'exécuter au milieu de la population lyonnaise, et nous avons énuméré quelques-unes des principales applications que peut avoir ce procédé fécond. Ce ne sont pas les

seules; mais, parmi celles-là, il en est une qui touche doublement au bien-être de l'humanité, en ce qu'elle peut avoir pour objet de réduire le nombre des sinistres qui affligent encore nos annales maritimes. Si, en effet, au point de vue de la richesse publique, la cargaison d'un navire est beaucoup, au point de vue de l'humanité, la vie d'un homme est plus encore.

« Nous voulons parler, on le voit de suite, de l'éclairage des phares et des ports de mer. Or, cette question n'est pas seulement une question de progrès industriel, c'est une question de moralité et d'humanité. Certes, la science a beaucoup fait déjà. Borda, Fresnel, Arago dans l'invention, le corps des ingénieurs dans l'application, les usines de Choisy-le-Roi dans l'exécution, et enfin Soleil et Lepaute dans la construction des appareils, tous ont apporté leur contingent dans ces précieux moyens de navigation; aussi, indépendamment de la reconnaissance qui leur est due par l'industrie tout entière, il n'est pas une mère, pas une sœur qui ne leur donne une part de bénédiction, car il n'est peut-être pas une d'elles qui ne leur doive la vie d'un frère ou d'un fils. C'est marcher dans la voie tracée par tous ces hommes de génie que de leur fournir un nouvel élément pour résoudre une des questions du programme scientifique qu'ils ont tracé pour la solution du problème d'ensemble.

« Or, la première question posée par Arago et par Fresnel était celle-ci :

« Donner à la lumière, sous le moindre volume possible, la plus grande intensité possible.

« Chacun sait les raisons qui rendent ces conditions nécessaires. La portée des phares, qui est de 10 à 11 lieues en vertu de leur hauteur, et qui se trouve très-inférieure par les temps clairs à leurs rayons de visibilité, lui devient de beaucoup supérieur par les temps brumeux. Or, substituer à la lumière actuelle une lumière plus intense, c'est donner

à la distance de visibilité du phare une longueur au moins égale à la portée, et par conséquent une portée constante, quel que soit l'état de l'atmosphère. Si l'on consulte la statistique des naufrages, on peut se convaincre que la brume est UNE des principales causes des sinistres; que remédier à ces inconvénients, c'est donc conserver au commerce des valeurs réelles, au pays des hommes utiles.

« Non-seulement l'intensité de la lumière électrique par les procédés nouveaux est beaucoup plus grande que celle des phares actuels de premier ordre, mais encore elle occupe un volume beaucoup moindre. En effet, les arcs lumineux entre les électrodes ont tout au plus 2 millimètres. Les Dargent concentriques qui servent à l'éclairage des phares ont, au contraire, un diamètre considérable. Or, cette circonstance est un obstacle à la perfection du phare, et voici pourquoi : les réflecteurs métalliques absorbent environ la moitié de la lumière émise. Fresnel leur a substitué les lentilles à échelons; c'est-à-dire qu'au lieu d'obtenir un faisceau cylindrique ou une nappe de lumière par réflexion, il l'obtient par réfraction. Ce procédé avait pour but de conserver à la lumière une plus grande portée, une plus grande puissance de pénétration; néanmoins, par une atmosphère brumeuse, cette distance est encore trop faible. La construction de ces appareils dioptriques consiste tout entière dans la perfection des surfaces géométriques des lentilles. Or, le tracé de ces surfaces dépend de la direction des rayons partant d'un centre commun qui est le foyer lumineux, et, scientifiquement parlant, ce centre devrait être un point. L'appareil sera donc d'autant plus précis que la source de la lumière aura moins d'étendue à intensité égale. Existe-t-il, à l'heure qu'il est, une source lumineuse qui remplisse mieux cette condition que la lumière électrique? Non.

« Pourquoi donc n'en a-t-on pas encore essayé l'application? C'est que jusqu'ici on n'avait pas encore trouvé de

moyens de la fixer, de la rendre égale, non interrompue et suffisamment durable, et que l'interruption de la lumière dans les phares pourrait avoir de graves inconvénients. D'abord la cessation prolongée de la lumière pourrait tromper sur la position des feux fixes[1] ; des interruptions alternatives pourraient être confondues avec des éclipses, et induire en erreur, non sur la distance, mais sur la position des phares. Enfin, des scintillements périodiques pourraient être confondus avec les éclats. L'application de l'éclairage électrique n'est donc possible sur les côtes qu'autant qu'on aurait résolu le double problème de la fixité et de la durée.

« On objectera peut-être que les appareils électriques ne sont point à l'abri de dérangement.

« D'abord tous les appareils sans distinction peuvent, par une cause imprévue et qu'il est impossible de prévoir, être soumis à un dérangement momentané.

« Toute la question est de savoir si ces dérangements sont une cause suffisante pour en empêcher l'application, autrement dit : 1° s'ils seront plus fréquents que dans les appareils usités aujourd'hui; 2° s'il est aussi facile d'y remédier. Or, tout le monde admet qu'un appareil se dérange d'autant moins qu'il est plus simple.

« Dans un phare de premier ordre, il y a quatre mèches concentriques, alimentées d'huile par des pompes que met en jeu un mouvement d'horlogerie. C'est précisément le système des lampes Carcel, auxquelles on a substitué les lampes modérateur, parce qu'elles sont plus simples et moins sujettes à des dérangements. Dans l'application de l'éclairage électrique, tout le mécanisme consiste dans un levier et dans

1. Les phares sont de trois sortes : à feux fixes, à éclipses, c'est-à-dire que leur lumière est interrompue à intervalles déterminés, et à éclats, c'est-à-dire que leur lumière, au contraire, devient plus brillante à des instants donnés et successivement pour tous les points de leurs rayons de visibilité. Ces caractères servent à les reconnaître.

une soupape, et cet organe fonctionne en vertu du courant même. L'extinction ne pourrait se produire que par la cessation du courant, et comme la cessation du courant produit la fonction même de cet appareil, le pisaller serait une suspension de quelques secondes. A la rigueur, du reste, l'appareil régulateur pourrait mettre en jeu un timbre (comme dans les bureaux de télégraphie) pour avertir le gardien de quart.

« L'arrêt est prévu dans le système actuellement en usage d'une manière analogue, mais moins prompte. Quand l'huile n'arrive plus en quantité suffisante, un godet qui reçoit l'excédant se vide *au bout d'un certain temps* et lâche alors la détente d'une sonnerie. Le levier de l'électro-aimant agirait instantanément ; mais ce qui est plus remarquable, c'est qu'il rétablirait lui-même la fonction compromise.

« A la rigueur, on peut se demander ce qui est plus prompt et plus facile, ou de remplacer une lampe compliquée, ou de poser dans un fourreau une baguette de carbone et de serrer une vis, *opération qui ne demande pas une minute*.

« On dira peut-être encore qu'il faudra une pile à chaque phare : c'est notre avis ; mais n'oublions pas qu'à la rigueur on pourrait les éclairer d'une usine centrale, et que les conducteurs, en supposant les phares à six lieues les uns des autres, ne seraient pas, pour éclairer vingt phares, d'une longueur plus grande que les fils télégraphiques de Paris à Lyon.

« Enfin, on a essayé sans succès, pour les phares de troisième ordre, les verres de couleur. On y a renoncé, malgré les avantages qu'ils présentaient sous certains rapports, parce que les verres colorés absorbent beaucoup de lumière et que l'atmosphère, vu le peu de pénétration des rayons ainsi modifiés, en change sensiblement la nuance. Il est probable que la lumière, demeurant d'une intensité singulièrement plus

grande, subirait cette transformation de couleur en conservant encore une distance de visibilité suffisante, sans altération venant des circonstances atmosphériques.

« Quant à la question économique, nous ne pensons pas qu'un phare électrique de premier ordre coûtât les 7 ou 800 francs qu'il coûte aujourd'hui.

« Voilà pour les phares.

« Mais les phares n'ont pas pour objet d'éclairer : ils ont pour but de déterminer divers points de repère pour les navigateurs, de créer, pour ainsi dire, des constellations artificielles, de position invariable, mais d'aspect variable, suivant la place qu'occupe le navire. Des combinaisons de cette apparence le capitaine peut conclure sa position à quelques lieues des côtes.

« Ne pourrait-on pas, en présence d'une source de lumière aussi intense, chercher à faire plus? Ne pourrait-on pas éclairer, sinon les côtes, au moins les ports, c'est-à-dire les étendues restreintes, où se concentrent toutes les manœuvres les plus importantes de la marine marchande et de la marine militaire ?

« Nous savons bien que les manœuvres s'exécutent en pleine mer par les temps les plus obscurs; mais est-ce à dire pour cela qu'elles ne s'exécutent pas mieux, plus facilement et surtout plus rapidement en plein jour? Ne parlons pas de la pleine mer et des gros temps: ce sont là des nécessités qu'il faut subir jusqu'à nouvel ordre (jusqu'à ce qu'on puisse éclairer les navires eux-mêmes); prenons le port, un port commerçant, et supposons qu'au moyen d'un certain nombre de lampes électriques bien disposées, de réflecteurs bien faits, on éclaire le bassin de manière qu'on y voie comme on y voyait pendant les soirées de mars au milieu de la rue Impériale, à Lyon.

« N'est-il pas vrai alors que les travaux qui cessent de nuit pourraient se continuer? La douane ne pourrait-elle pas,

sans augmentation de frais, continuer une partie de ses vérifications et surveiller les déchargements, réservant pour le jour la visite du navire et pour la nuit la descente des marchandises, et classant, en un mot, son service de la manière la plus convenable pour en hâter l'exécution de jour et de nuit? L'appareillage ne se ferait-il pas plus facilement? N'est-il pas incontestable enfin que ceux de ces travaux qui s'effectuent aujourd'hui de nuit par nécessité s'effectueraient de jour avec plus de promptitude et de sécurité? Or, le temps est une richesse; et, d'ailleurs, dans les ports de l'Océan, il faut souvent, pour mettre dehors, attendre les heures du flux et du reflux, et la marée n'attend pas; quelques heures de gagnées, c'est parfois la rapidité d'un voyage entier assurée. Disons encore que l'État y trouverait son compte par une surveillance plus facile et plus sûre.

« Serait-ce enfin hasarder une hypothèse trop extravagante que d'entrevoir la possibilité d'éclairer la traversée de la Manche, au moyen de la lumière projetée de quelques phares? L'ingénieur, dont la spécialité est de comprendre les difficultés inaperçues du public, doit aussi en apercevoir les solutions, et l'on arrive à cette conviction qu'en application industrielle, avec du temps et de l'argent, il n'y a plus d'impossibilités proprement dites.

« Or, nos ingénieurs français ont fait des travaux plus difficiles, plus délicats, que la construction des phares au milieu de la mer, d'autant mieux que la profondeur de la Manche n'est pas très-considérable, et que la portée de la lumière électrique est assez grande pour qu'on puisse aujourd'hui éclairer le bras de mer dont nous parlons par des feux assez voisins des côtes.

« Le progrès n'a de limite que les obstacles rationnels, que les impossibilités absolues, c'est-à-dire celles qui résultent d'une opposition aux principes nécessaires de la science; mais, en dehors de là, il n'y a pas pour l'homme

d'impossibilité vraie, il n'y a que des difficultés, et c'est le propre d'une difficulté que d'être près de disparaître le jour où on l'entrevoit clairement.

« L. PETITPIERRE PELLION,
« *Ingénieur civil des mines.* »

M. Prosper Meller, zélé amateur des applications de la lumière électrique, et qui, contrairement aux ingénieurs, voudrait la retrouver dans tout et partout, signale en ces termes à *l'Ami des sciences* un nouvel emploi de cet agent si puissant d'éclairage :

« On ne doit rien négliger pour éviter les catastrophes qui sont encore si fréquentes sur les chemins de fer. Les derniers accidents que les journaux ont fait connaître prouvent que les moyens actuels, y compris la télégraphie électrique, sont insuffisants. La vie des voyageurs ne devrait pas dépendre de l'imprévoyance ou de l'inattention des employés. Les moyens mécaniques et physiques sont plus sûrs que l'intelligence... : il faut donc espérer qu'on réalisera bientôt les moyens proposés par divers inventeurs.

« Vous avez publié mes projets de freins hydrauliques et de chauffage des wagons. Je propose aujourd'hui un moyen de préserver la vie des voyageurs. On éviterait les rencontres sur les chemins de fer en éclairant les trains avec une lumière très-intense, visible malgré le brouillard. L'expérience prouve que les fanaux ordinaires ne suffisent pas. La lumière si puissante de l'électricité conviendrait pour les chemins de fer, non-seulement pour les trains, mais, en outre, *pour les signaux de nuit sur toute la longueur des voies de fer*. Les expériences faites à Lyon par MM. Lacassagne et Thiers indiquent que le succès est assuré. Les lampes photo-électriques de ces savants et habiles inventeurs sont déjà utiles à la marine pour l'éclairage des phares et des ports de mer. Espérons qu'elles seront bientôt appliquées aux chemins de fer.

« Les trains seraient signalés de très-loin, en plaçant les lampes photo-électriques *au-dessus* de la locomotive et du dernier wagon, à une élévation aussi grande que le permettent les constructions des chemins de fer. En projetant leur lumière à une grande distance, les lampes photo-électriques permettraient de voir d'assez loin pour éviter les rencontres et les obstacles qui embarrasseraient la voie. »

Bouées lumineuses de M. Harisson. — Nous avons déjà parlé, dans notre troisième volume, d'un système de bouées lumineuses proposé par M. P. Meller pour signaler de nuit les écueils ou les endroits difficiles pour la navigation. M. Harisson a émis dernièrement la même idée, mais en adaptant aux bouées un système d'éclairage électrique de son invention, au moyen duquel la lumière électrique, passant alternativement d'une bouée à l'autre, pourrait circonscrire par un cercle de feu l'endroit dangereux.

Pour cela, chaque bouée porterait un petit régulateur auquel aboutirait l'extrémité d'un fil qui correspondrait à un commutateur placé à terre, et analogue à celui de sa lampe à mercure. Tous ces fils seraient, bien entendu, reliés ensemble dans un même câble sous-marin, et le courant venant à se trouver successivement renvoyé à travers tous ces régulateurs dans un espace de temps moindre qu'un dixième de seconde, l'image qu'on conserverait de ces diverses apparitions lumineuses serait un cercle de feu continu passant à travers toutes les bouées.

Ce système de division de la lumière pourrait même être obtenu pour chaque bouée en substituant au régulateur de lumière un système à étincelles, au moyen duquel l'étincelle se trouverait distribuée tour à tour sur une assez grande surface sans se diviser, sous l'influence seule d'un commutateur rhéotomique mis en mouvement sous une influence électro-magnétique.

VIII

APPLICATIONS INDUSTRIELLES ET ÉCONOMIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

Perfectionnements apportés aux métiers de tissage électrique. — Depuis la publication du troisième volume de notre *Exposé*, aucuns perfectionnements notables n'ont été apportés aux métiers de tissage de M. Bonelli; il est vrai que l'appareil a été confié à M. Froment qui, bien certainement, le rendra apte à marcher d'une manière plus régulière qu'il ne l'a fait jusqu'ici. Mais l'établissement du nouvel appareil n'est pas encore terminé. Dans tous les cas, que M. Froment parvienne ou non à le faire marcher d'une manière satisfaisante, les inconvénients que nous avons signalés n'en subsisteront pas moins, et nous ne sommes pas plus convaincu aujourd'hui qu'il y a deux ans de la réussite de cette invention. Quoi qu'il en soit, je vais rapporter, d'après M. Delarive, les perfectionnements que médite M. Froment.

« Dans l'appareil que se propose de construire M. Froment, dit M. Delarive, l'action magnétique aura lieu suivant l'axe de l'électro-aimant qui sera horizontal, et non pas latéralement comme dans le dernier appareil de M. Bonelli. Celui-ci avait été empêché d'adopter cette disposition, par l'impossibilité de donner à ses électro-aimants un diamètre assez petit pour qu'ils fussent chacun vis-à-vis de leurs tiges correspondantes; mais M. Froment surmonte cette difficulté en diminuant encore la force magnétique que devra développer chaque électro-aimant. Ainsi, devant chaque électro-aimant se trouvera une tige horizontale terminée d'un côté par une pièce de fer doux, et de l'autre par un petit cylindre de cuivre ou tôle. Toutes ces tiges pourront se mouvoir latéralement dans

le châssis qui les supporte, et ce châssis lui-même sera susceptible de prendre un mouvement de translation. Pour chaque coup de trame, il s'avancera d'abord de gauche à droite, et viendra appliquer tous les fers doux contre les pôles de leurs électro-aimants respectifs, puis il repartira en sens contraire, et n'entraînera avec lui que les tiges appliquées contre les électro-aimants inactifs. Lorsque le châssis sera éloigné suffisamment pour que les têtes des tiges restées adhérentes aient passé dans des ouvertures correspondantes, pratiquées sur une espèce de cloison mobile avec le châssis, le courant cessera partout et le châssis continuera à s'avancer en emportant avec lui toutes les tiges dans les positions respectives qu'elles y ont prises. A ce moment une coulisse s'abaissera et viendra fermer les ouvertures de la cloison devant les têtes des tiges restées dans le châssis, en même temps qu'elle servira d'appui à celles qui seraient en dehors. C'est alors que la paroi du châssis qui s'avancera toujours viendra rencontrer les extrémités des tiges horizontales du métier et qu'elle agira sur elle, comme le carton Jacquard, en poussant latéralement celles qui correspondent aux têtes restées hors du châssis. Ainsi, l'électro-magnétisme n'aura plus à vaincre que la faible résistance des petites tiges sur leurs glissières, et M. Froment, tout en donnant à ses électro-aimants une puissance d'action très-supérieure à celle qui lui est nécessaire, peut rendre leurs dimensions suffisamment petites pour les placer chacun vis-à-vis de la tige horizontale correspondante. Les perfectionnements porteront aussi sur le mode de communication des fils avec le papier métallique; en outre, un commutateur fermera le circuit un instant, après le contact des dents avec le dessin type, et le rompra un instant avant que ce contact cesse. Cette disposition fera disparaître les étincelles d'induction qui finiraient par détériorer le papier. »

M. Vincenzi, de Turin, a voulu apporter aussi de son côté

quelque pierre à l'édifice construit avec tant de peine par son compatriote M. Bonelli; mais a-t-il été un aide bien inspiré dans cette circonstance? Nous ne le croyons guère. Du reste ses prétentions ne se sont portées que sur le commutateur en vue des tissus à plusieurs couleurs. Son système consiste à découper à la pointe une feuille d'étain suivant les petits carrés en rapport avec le dessin de l'étoffe ; cette découpure est ensuite collée sur une feuille de papier, sur le bord de laquelle sont également collés de petits conducteurs d'étain correspondant à chaque ligne ou à chaque série de carrés découpés représentant une même couleur. Ces différents conducteurs, étant reliés avec des séries déterminées d'électro-aimants, pourront répartir les fermetures de courant suivant les couleurs. La description de M. Vincenzi est du reste tellement obscure, que c'est tout au plus si j'ai pu comprendre le but qu'il s'est proposé d'obtenir.

Application de l'électricité à la filature. — Sous ce titre un peu ambitieux, MM. Delaunay ont entendu augmenter, par l'électro-magnétisme ou le magnétisme, la force d'adhérence des rouleaux formant laminoir dans certains métiers employés dans les filatures pour étirer les fils de matière textile. Ordinairement ces rouleaux sont l'un en fer et muni de cannelures dans sa longueur, l'autre en bois et recouvert de drap, de toile et de peau, suivant les matières à filer. C'est ce dernier rouleau que MM. Delaunay veulent remplacer par un rouleau aimanté, afin de réagir par attraction magnétique sur le rouleau de fer. Ils prétendent que, par suite de cette adhérence plus forte, le fil est mieux étiré et laminé d'une manière plus homogène; ils ajoutent même que l'atmosphère magnétique, dans laquelle ce fil se trouve plongé, contribue à le rendre plus souple et plus beau. Nous n'osons guère nous lancer dans l'appréciation de cette invention, car il faut être du métier pour pouvoir en juger la valeur.

Appareil pour maintenir automatiquement le niveau de

l'eau constant dans les chaudières des machines à vapeur de M. Achard. — On sait que la plupart des explosions des chaudières à vapeur proviennent de l'abaissement anormal du niveau de l'eau. Les parois, n'étant plus couvertes de liquide et recevant l'action directe du feu sans pouvoir la transmettre, ne tardent pas à rougir, et, dans ces conditions, l'introduction d'une nouvelle quantité de liquide détermine tout à coup une très-grande vaporisation contre laquelle les soupapes et tous les moyens de sécurité connus sont impuissants. Pour écarter ces causes d'accidents, il ne s'agit donc que de maintenir toujours le niveau de l'eau des chaudières à vapeur à une hauteur constante. Or, ce résultat n'est pas réalisé tant s'en faut par les pompes alimentaires qui, marchant toujours avec une vitesse uniforme, ne peuvent faire varier la quantité d'eau qu'elles introduisent suivant les différents degrés d'échauffement de la chaudière et suivant une foule d'autres circonstances qui réagissent pour faire varier la quantité de vapeur produite dans un temps donné. Sans doute, les flotteurs adaptés à ces chaudières pourraient indiquer la hauteur de l'eau dans ces chaudières; mais fait-on la plupart du temps attention à ces indications? On a déjà, il est vrai, adapté à ces flotteurs des avertisseurs électriques; mais avant qu'on n'ait satisfait à l'avertissement donné, des accidents peuvent survenir, et c'est pour les prévenir définitivement que M. Achard a adapté aux pompes alimentaires le nouvel appareil dont nous nous occupons et qui est représenté fig. 10, pl. III. Au moyen de cet appareil, en effet, tout abaissement ou toute élévation de l'eau dans les chaudières à vapeur, au delà ou en deçà de la ligne de niveau, produit une réaction électro-magnétique qui a pour effet d'augmenter ou de diminuer le jet d'eau fourni par la pompe alimentaire, et cela sans aucune intervention humaine. Voici comment M. Achard a résolu le problème :

Sur l'un des organes mécaniques, mis en mouvement par

la machine à vapeur dans le voisinage de la pompe alimentaire, est adapté un transmetteur quelconque de mouvement qui communique à un levier AB, fig. 10, pl. III, un mouvement d'oscillation de A en C. Sur ce levier sont fixés deux électro-aimants EE′ apposés l'un à l'autre, et deux bras BD, BD′ qui portent chacun à leur extrémité un système d'encliquetage composé d'un cliquet articulé F, F′ muni d'une armature H, H′. Ces systèmes d'encliquetage, en oscillant entre deux butoirs à ressort I, I′, se trouvent alternativement déviés de leur position normale et inclinés de manière à présenter devant les électro-aimants EE′ au moment où ils s'abaissent, les armatures HH′ qui se trouvent dès lors en contact avec eux, comme on le voit en EI. Lorsque le courant ne passe pas à travers l'un ou l'autre des électro-aimants EE′, ce contact établi avec les armatures HH′ reste sans effet; celles-ci, en rencontrant deux autres butoirs à ressort JJ′, au moment de leur oscillation ascendante, sont même replacées à leur position première, c'est-à-dire de manière à pouvoir réagir sur une roue R placée au-dessous du système oscillant; mais si le courant anime l'un des électro-aimants, l'armature correspondante reste collée sur lui et ne peut plus être ramenée à sa position normale. Le cliquet auquel elle est reliée se trouve écarté et reste dans cette position tout le temps que le courant est maintenu fermé. Pendant ce temps l'autre cliquet, demeuré libre, peut réagir sans opposition sur la roue R qui, étant adaptée à la clef d'un robinet établi sur le tuyau d'alimentation de la chaudière, permet ou empêche l'introduction de l'eau dans celle-ci suivant qu'elle est tournée à gauche ou à droite. Comme le sens de cette rotation dépend de l'action de celui des deux cliquets qui est demeuré libre ou qui échappe à l'effet électro-magnétique, il en résulte qu'il suffit de fermer le courant à travers l'un ou l'autre des deux électro-aimants EE′ pour obtenir une élévation ou une stagnation du niveau

de l'eau dans la chaudière. Or, cette fermeture de courant peut être produite par le flotteur lui-même avec l'intermédiaire de son aiguille indicatrice et de contacts électriques dont il est facile de deviner la disposition.

Lors donc que le niveau baisse dans la chaudière, le robinet s'ouvre; il se ferme au contraire, lorsque le niveau monte, et le jeu précis de cet appareil ne permet pas au niveau de varier de plus d'un millimètre entre ses deux limites extrêmes.

Toutefois, l'auteur ne s'est pas contenté d'assurer l'alimentation de la chaudière; il a voulu rendre les accidents tout à fait impossibles, et pour cela il a relié son appareil avec une sonnerie qui avertit non-seulement quand le niveau baisse ou s'élève au delà d'une certaine limite, mais encore dans le cas où la pile viendrait à cesser de fonctionner.

« Ce qui est digne de remarque, dit M. Lorenti dans un rapport fait par lui à la société d'histoire naturelle de Lyon, c'est que l'appareil fournit pour ainsi dire le remède en même temps que l'avertissement. Lorsque le niveau s'abaisse au delà de la limite inférieure, le robinet d'alimentation *s'ouvre entièrement, et il reste ouvert* tant que la sonnerie avertit qu'il y a danger. La pompe alimentaire cesse-t-elle de fonctionner par suite de dérangement ou de manque d'eau, immédiatement l'appareil ouvre le robinet et agite violemment la sonnette d'alarme. Le robinet s'ouvre encore complétement lorsque le courant vient à s'interrompre, et aussi lorsque le flotteur, cessant de fonctionner, s'arrête au bas de sa course. Mais *il se ferme et reste fermé* si, pour une cause quelconque, la chaudière se remplit outre mesure; et toujours la sonnerie fait connaître que quelque chose d'anormal vient de se produire. »

L'appareil que nous venons de décrire et qui n'est, en définitive, qu'une application nouvelle de l'embrayeur électrique du même auteur, est établi à Lyon et à Paris dans cinq

usines, où il fonctionne depuis le commencement de l'année de la manière la plus satisfaisante. Il est probable que d'ici à peu de temps son usage se généralisera, et que, grâce à lui, les explosions qui arrivent malheureusement trop souvent seront rendues plus rares.

Comme la force électro-magnétique n'intervient dans cet appareil que pour maintenir des cliquets éloignés de leur position normale, la pile appelée à le faire réagir peut être très-faible et consister simplement dans deux éléments de Daniell.

Flotteur magnétique des machines à vapeur de M. Lethuillier-Pinel. — Les indications exactes de la hauteur du niveau de l'eau, dans les chaudières des machines à vapeur, sont, comme nous l'avons vu précédemment, de la plus haute importance, non-seulement pour assurer la régularité du jeu de la machine, mais encore pour prévenir les accidents; on a vu même que dans certaines circonstances, quand, par exemple, elles devaient provoquer une réaction de la part d'avertisseurs ou de régulateurs, soit électriques, soit mécaniques, ces indications devaient être fournies par des aiguilles ou appendices mobiles sur un cadran. Or, comment obtenir un pareil résultat lorsque entre l'extérieur et l'intérieur d'une chaudière il ne peut y avoir aucun intermédiaire mobile? Tel était le problème difficile qu'il fallait résoudre, et c'est ce à quoi est parvenu M. Lethuillier-Pinel en employant un flotteur muni d'un aimant et en faisant réagir à distance cet aimant sur une aiguille de fer qui en suit forcément tous les mouvements. Certainement cette idée était ingénieuse et féconde, mais la manière dont elle a été réalisée fait de ce système de flotteur le plus parfait qui puisse être employé.

Dans l'origine, c'est-à-dire en 1851, cet appareil se composait d'un simple tube métallique adapté à l'avant de la chaudière et mis en communication avec l'eau et la vapeur de cette chaudière au moyen de deux tubes munis de robinets:

le flotteur magnétique muni d'un aimant en fer à cheva pouvait se mouvoir dans le tube formant le corps de l'appareil et y prendre un mouvement ascensionnel ou descensionnel.

Le cylindre indicateur était aplati sur l'une de ses faces et portait un cadre dans lequel s'enchâssait une glace recouvrant un espace vide dans lequel pouvait se mouvoir une aiguille de fer ou d'acier dont les extrémités s'engageaient dans des rainures verticales. Cette aiguille, attirée par l'aimant, montait et descendait avec lui, et accusait ainsi le niveau de l'eau du tube et par suite de la chaudière.

Tel était donc, dans l'origine, cet appareil appelé à juste titre : *flotteur magnétique*. Depuis, l'auteur, au moyen d'additions successives, l'a rendu propre aux fonctions essentiellement distinctes d'indicateur du niveau des chaudières (avec sifflet avertisseur dans le cas d'un niveau trop restreint) et d'appareils de sûreté. Le *Génie industriel* donne l'aperçu suivant des améliorations dont il s'agit :

« Tout en conservant le principe fondamental d'attraction de l'aiguille aimantée sous l'influence du flotteur muni de son aimant, M. Lethuillier-Pinel en fait ainsi un appareil tout nouveau ; les frottements de l'aiguille et du flotteur ont disparu ; le flotteur, placé sur la masse même du liquide de la chaudière, agit ainsi directement sur la tige conductrice de l'aimant moteur.

« Au-dessus du tableau indicateur des niveaux est placé un sifflet d'alarme dont la soupape s'ouvre par suite de mouvement descensionnel de la tige du flotteur et accuse ainsi l'abaissement du niveau dans la chaudière. Enfin une tubulure, ajoutée au corps principal de l'appareil, est surmontée d'une soupape de sûreté.

« L'appareil ainsi amélioré est placé sur le corps même de la chaudière au lieu d'être appliqué à l'avant comme dans l'origine.

« Enfin, non content des améliorations notables qui viennent d'être mentionnées, l'inventeur a voulu apporter à son appareil un dernier perfectionnement, c'est-à-dire lui adjoindre l'indicateur de la pression de la vapeur dans la chaudière, le manomètre enfin. A cet effet, il a ajouté au tube principal de l'appareil une deuxième tubulure placée en face de celle qui porte la soupape de sûreté, et c'est dans cette tubulure qu'a été placé le sifflet avertisseur occupant précédemment la partie supérieure de l'appareil ; c'est à cette partie supérieure qu'il a placé le manomètre.

« L'appareil ainsi composé nous paraît arriver à son dernier degré de perfection ; il est de forme gracieuse, d'une composition aussi simple que bien entendue au point de vue des divers objets qu'il est appelé à remplacer. »

Flotteur électrique de l'usine hydraulique de Caen. — Les flotteurs électriques ne sont pas nouveaux ; mais, comme nous n'avons fait que les signaler dans le 3e volume de notre *Exposé* sans en indiquer les dispositions, nous croyons devoir réparer cet oubli en décrivant ici le flotteur de l'usine hydraulique de Caen qui, joint au mesureur électrique à distance et au chronographe décrit page 408, complète d'une manière heureuse la disposition mécanique de cet établissement.

Les flotteurs destinés à accuser les variations des niveaux d'eau à ciel ouvert sont loin de présenter les difficultés que nous avons signalées pour les flotteurs des chaudières à vapeur. Il ne s'agit simplement que de disposer le mécanisme qui relie le flotteur à l'indicateur, de telle manière que la course accomplie par cet indicateur soit très-limitée. Pour cela, on dispose au-dessus du réservoir d'eau où plonge le flotteur une bascule à bras très-inégaux, aux extrémités de laquelle on attache deux tiges en rapport, l'une avec le flotteur, l'autre avec l'indicateur. Cette dernière, bien entendu, correspond au bras le plus court de la bascule et, pour réa-

gir sur l'indicateur, se termine par une crémaillère qui engrène avec un arc de cercle denté fixé sur l'axe de l'aiguille indicatrice. De cette manière, toutes les variations du niveau de l'eau se trouvent accusées par un mouvement ascensionnel ou descensionnel de la crémaillère réduit dans le rapport des deux bras de la bascule, lequel mouvement se trouve traduit en degrés sur le cadran de l'indicateur par l'arc décrit par l'aiguille.

Quelquefois, au lieu d'avoir à diminuer la course du flotteur sur l'indicateur, on a à l'augmenter; alors on dispose le mécanisme précédent d'une manière inverse, ou on emploie des poulies d'inégal diamètre, comme on le fait pour les flotteurs des baromètres à cadran.

A l'usine hydraulique de Caen, un flotteur disposé ainsi que nous l'avons dit précédemment indique le niveau de l'eau dans une citerne où se trouve en provision l'eau qui doit être projetée de là dans les réservoirs d'alimentation de la ville, et qui est fournie par un puits artésien placé dans le voisinage. On comprend aisément de quelle importance est pour l'établissement la connaissance de ce niveau; car s'il dépasse la limite maximum, l'eau peut inonder l'établissement; et si celle-ci est projetée par les pompes en plus grande quantité qu'elle n'est fournie par le puits, les machines marchent inutilement et s'usent d'autant plus vite qu'elles manœuvrent sans résistance. Pour prévenir quand l'un ou l'autre de ces deux effets est sur le point de se produire, on a ajouté à l'indicateur du flotteur un avertisseur électrique mis en action par la rencontre de l'aiguille indicatrice avec deux ressorts placés sur le cadran en face du niveau maxima et minima, lesquels ressorts sont interposés dans le circuit de l'avertisseur ou de la sonnerie. De cette manière, le niveau de l'eau ne dépasse pas l'une ou l'autre de ces deux limites sans provoquer le tintement de la sonnerie et sans prévenir par là de l'accident qui peut survenir.

En appliquant au robinet qui ouvre la communication entre la citerne et le puits artésien l'appareil de M. Achard, que nous avons décrit page 519, on pourrait même faire en sorte que toutes variations de niveau en dehors des limites voulues fussent corrigées automatiquement.

Embrayeur électrique pour les treuils des puits profonds. — Dans certaines localités situées sur des hauteurs, il arrive souvent que les puits atteignent une profondeur de 180 à 200 pieds. Alors les treuils destinés à monter les seaux doivent avoir un diamètre assez considérable et, pour en faciliter la manœuvre, on adapte sur leur axe un volant très-pesant, accompagné de deux roues à rochet avec encliquetage. D'un autre côté, on emploie pour le tirage des seaux deux cordes disposées de telle façon que l'une s'enroule sur le treuil alors que l'autre se déroule, ce qui permet de descendre un seau à mesure qu'on en monte un autre. Au commencement de l'opération, la mise en mouvement du treuil exige une certaine force; mais une fois l'inertie du volant vaincue, l'ascension du seau rempli d'eau s'effectue assez facilement, et il arrive même un moment où elle se fait trop facilement; car le poids de la corde qui se déroule, joint à celui du seau qui descend, finit par devenir assez considérable pour entraîner le volant. Alors, si l'on n'y prend pas garde, le seau arrivé au haut du puits peut se trouver emporté sans qu'on puisse l'arrêter; car, en raison de son inertie, le volant ne peut pas passer instantanément du mouvement au repos, et il en résulte que la main de fer qui soutient ce seau se trouve rompue quand toutefois le seau lui-même n'est pas mis en pièces. Dans tous les cas, brisé ou non brisé, le seau tombe au fond du puits, ce qui cause un arrêt plus ou moins long dans le service de ce puits.

Rien n'est plus commun que ces accidents et, dans la commune que j'habite, où se trouve un puits de ce genre,

ils se sont renouvelés plus de trente fois depuis trois ans. Or, comme l'établissement d'un puits de 200 pieds de profondeur n'est pas fait dans les communes rurales sans une nécessité impérieuse, un arrêt, quelque momentané qu'il soit dans leur service, ne laisse pas que d'être très-préjudiciable, surtout par les temps de sécheresse; il était donc à désirer que l'on pût trouver un moyen mécanique qui opérât automatiquement l'arrêt du mécanisme moteur précisément au moment où le seau rempli arrive au haut du puits, et c'est ce problème que j'ai résolu dans le système que je vais décrire.

Avant de songer à l'emploi des moyens électriques, j'avais cherché à résoudre le problème mécaniquement pour éviter l'emploi et l'entretien d'une pile; mais je n'ai pas tardé à reconnaître que des difficultés ou des complications sans nombre en seraient la conséquence. Ainsi, j'avais pensé à terminer l'axe de mon treuil, du côté opposé au volant, par un manchon muni d'un filet de vis et portant un écrou mobile conduit par deux tringles de fer. Ce manchon en venant buter contre un arrêt à ressort un peu avant la sortie du seau du puits devait, suivant ma pensée, amortir successivement le mouvement de rotation du treuil. J'avais encore pensé à faire réagir le seau lui-même sur un levier articulé qui aurait réagi sur un frein appliqué au volant au moment où le seau aurait dépassé la limite de hauteur à lui assignée. En réfléchissant aux conséquences qui seraient résultées de l'emploi de ces moyens, j'ai dû, comme je l'ai dit, les rejeter définitivement : le premier à cause de la dépense élevée qu'il entraînait et du peu de sûreté d'un arrêt provoqué par la simple résistance d'un filet de vis de très-petit rayon par rapport au volant; le second par l'embarras que pouvait occasionner pour le service du puits la présence d'un levier barrant celui-ci par le milieu. Je me suis donc trouvé forcé, à la suite de ces considérations, d'avoir recours à des moyens

électriques, et c'est l'embrayeur de M. Achard que j'ai mis à contribution dans le système que j'ai adopté, et qui est représenté fig. 12, pl. III.

On comprendra immédiatement les avantages que me présentait l'emploi de l'électricité dans la disposition mécanique que j'avais à prendre, dès lors que je dirai qu'un simple conjoncteur de courant adapté sur le treuil du puits pouvait me fournir, au moment précis où les seaux arrivaient à une hauteur déterminée et variable à volonté, une fermeture de courant prolongée susceptible de mettre en action l'embrayeur électrique. De cette manière rien n'encombrait le puits, et je pouvais agir sur le volant lui-même.

Le conjoncteur que j'ai adopté consiste dans quatre lames de laiton étamé *a, b, c, d,* fig. 13, pl. III, vissées deux par deux aux deux extrémités de la surface cylindrique du treuil et placées, parallèlement à l'axe de celui-ci, à une distance l'une de l'autre assez considérable. Ces lames communiquent métalliquement deux à deux d'une extrémité à l'autre du treuil et ont une longueur suffisante pour être enveloppées par les derniers tours des deux cordes sur le treuil. Celles-ci portent à la hauteur de deux mètres environ au-dessus de leur point d'attache avec leur seau une gaîne métallique de un mètre de longueur constituée par un fil de laiton étamé enroulé autour d'elle. Quand cette partie métallique vient à s'enrouler sur le treuil, le seau se trouve à quelques décimètres seulement du point le plus élevé auquel il doit arriver. Mais, en s'enroulant sur le treuil, elle réunit métalliquement, soit à une extrémité, soit à l'autre, suivant la corde, deux des lames métalliques dont nous avons parlé. Et si ces lames communiquent les unes avec le pôle positif d'une pile, les autres avec le pôle négatif, il en résulte une fermeture de courant précisément au moment où le seau attiré atteint la hauteur voulue pour que l'embrayeur opère son effet.

On comprend d'après cela pourquoi les deux lames métalliques de chaque extrémité du treuil doivent être écartées l'une de l'autre, et pourquoi elles ne doivent pas se prolonger dans toute la longueur de ce treuil, car la corde mouillée pourrait, avec une grande surface de contact métallique et une petite résistance à vaincre, provoquer inopportunément une fermeture de courant. Quant aux liaisons de ces lames conductrices avec le circuit de la pile, elles se font naturellement au moyen de frotteurs appuyant sur des bandes circulaires adaptées aux extrémités du treuil.

L'enrayeur représenté fig. 12 se compose de deux leviers mobiles AB, AC, pivotant librement sur le même axe A et portant, l'un une armature articulée B, l'autre un électro-aimant E; ce dernier levier est relié par une articulation avec une bielle CD adaptée à une excentrique D qui communique à l'électro-aimant E un mouvement de va-et-vient, dans lequel il rencontre à chaque tour du volant de l'appareil moteur l'armature B. Le levier AB, maintenu à l'état normal suivant la verticale par un butoir d'arrêt F et un ressort de rappel R, est terminé par un bec à charnière G qui peut se replier en dehors du mécanisme, c'est-à-dire du côté du butoir F. Enfin, à portée de ce bec se trouve adapté un fort levier HI basculant en J, qui porte le sabot de bois I constituant le frein. Ce sabot est entaillé de manière à emboîter le volant, et peut être facilement remplacé en cas d'usure puisqu'il n'est que boulonné sur le levier HI.

Le jeu de cet appareil est facile à saisir : à l'état normal, le levier HI, entraîné par le poids du sabot, appuie contre un butoir K, et la semelle du sabot se trouve environ à deux centimètres de la circonférence du volant. Le mouvement de celui-ci peut donc s'exécuter sans obstacle, et l'électro-aimant E accomplit librement ses oscillations; mais aussitôt que, sous l'influence du conjoncteur établi sur le treuil, le courant circule à travers cet électro-aimant, l'armature B entre

en adhérence magnétique avec lui au moment de son prochain contact, et faisant alors pour ainsi dire corps avec le levier AC, elle en partage tous les mouvements en entraînant avec elle le levier AB lui-même. Sous l'influence de l'oscillation de l'électro-aimant E, le levier AB quitte donc sa position verticale, et venant se placer en arrière de l'extrémité H du levier HI, se trouve en mesure de réagir sur lui par son bec G au moment du retour de l'excentrique D. Comme cette réaction qui a pour effet de faire basculer le levier HI et d'appuyer le sabot I contre le volant, est commandée par une force dépendante de la vitesse de ce volant, elle est d'autant plus énergique que cette vitesse est plus grande, et le degré de serrage du frein se trouve ainsi proportionné à la force qu'il s'agit d'éteindre, laquelle s'éteint forcément en effet sous sa propre influence après quelques décimètres de parcours du volant.

J'ai ajouté à ce mécanisme une clanche L pour maintenir l'embrayage dans certains cas et une poignée N pour qu'on puisse faire fonctionner le frein à la main sans électricité.

Une fois l'arrêt du volant opéré par les moyens que je viens d'indiquer, il faut, pour qu'on puisse le faire marcher de nouveau, replier le bec G du levier AB et le faire passer de l'autre côté de l'extrémité H du levier HI. Cette opération pourrait être faite automatiquement par des moyens mécaniques ou électro-magnétiques; mais j'ai pensé qu'il valait mieux la laisser au soin de ceux chargés de la manœuvre du puits, afin d'empêcher les gamins et les passants de jouer avec ces mécanismes. En effet, le bec G restant toujours derrière le levier HI, il est impossible de faire tourner le volant sans que le frein soit mis en action.

Pour compléter le système précédent et avertir du moment de la sortie des seaux hors du puits, j'ai introduit une sonnerie électrique qui peut suppléer à l'enrayeur en cas de dérangement de celui-ci.

Application de l'embrayeur électrique de M. Achard au gouvernail des navires. — M. Achard a songé à appliquer son embrayeur électrique au gouvernail des navires pour permettre leur manœuvre à distance, de la chambre du capitaine par exemple.

Je ne sais jusqu'à quel point cette application est opportune, mais en raison de son originalité nous allons exposer en quelques mots la manière dont elle pourrait être réalisée.

Ce serait surtout à bord des navires à vapeur à hélice que l'installation d'un pareil gouvernail pourrait le plus facilement se faire. En effet, le moteur agissant alors jusqu'à l'extrémité du navire peut, au moyen d'une transmission de mouvement très-simple, communiquer un mouvement de va-et-vient à un levier ayant action sur un appareil analogue à celui que nous avons décrit page 519, pour le règlement du niveau dans les chaudières à vapeur. Seulement la roue à dents rondes sur laquelle réagissent les cliquets oscillants, au lieu d'être placée sur la clef d'un robinet, serait placée sur le gouvernail lui-même ou sur des mobiles en rapport de mouvement avec lui. Alors suivant qu'on tournerait dans un sens ou dans l'autre un commutateur mis en rapport avec cet appareil, on ferait tourner le gouvernail dans un sens ou dans l'autre.

Du reste, une foule d'autres applications de l'embrayeur électrique à la grosse mécanique peuvent être faites avec avantage, et M. Achard en a proposé déjà un certain nombre ; nous-même nous en avons déjà fait quelques-unes, et il est probable que d'ici à peu de temps ce système si ingénieux sera introduit dans la plupart des usines, ne serait-ce que pour obtenir d'une manière facile et instantanée des transmissions de mouvements en sens contraire. L'appareil gouverneur du niveau des chaudières suffit en effet pour produire ce genre de réaction. Enfin nous croyons que l'em-

brayeur électrique est un des éléments électro-mécaniques qui ont le plus d'avenir.

Perfectionnements nouveaux apportés au régulateur électro-automatique de la température de M. Th. Du Moncel.— Frappé des inconvénients qui résultaient de l'irrégularité de marche des deux thermomètres du transmetteur de cet appareil, j'ai

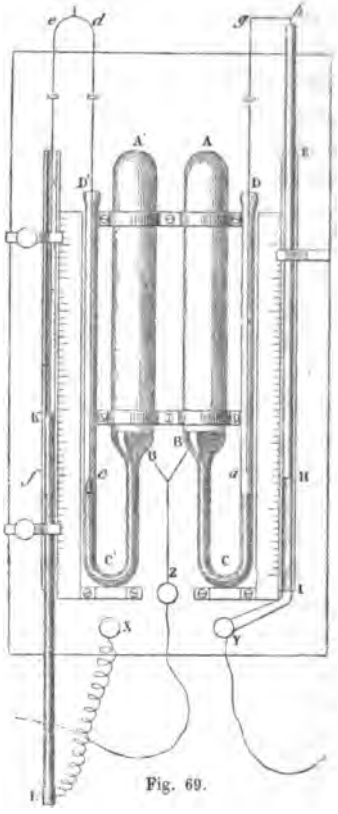


Fig. 69.

cherché à le combiner de manière à n'employer qu'un seul thermomètre, et pour cela j'ai substitué au fil *ag*, porté par

la tige mobile H *h* (voir fig. 69 ci-contre), deux fils de platine recouverts de soie et tordus ensemble de manière à ne faire qu'un seul fil fixé comme le premier en *h*, mais sur de l'ivoire. Les bouts libres de ces deux fils se trouvent éloignés de deux millimètres environ l'un de l'autre et plongent dans le tube du thermomètre ABCD, tandis que les bouts fixés en *h* communiquent par des fils tournés en spirale, l'un avec la bouche réfrigérante, l'autre avec la bouche de chaleur. Ce dernier correspond à celui des deux fils tordus dont le bout libre dépasse l'autre. Le jeu de l'appareil s'effectue de la manière suivante :

Tant que le mercure du thermomètre n'a pas atteint le

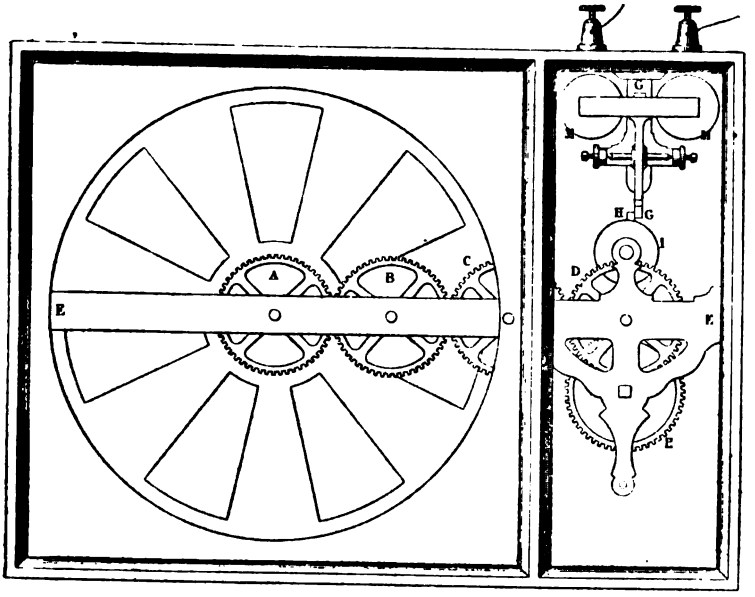


Fig. 70.

plus long fil de platine, la bouche de chaleur reste ouverte ; la chaleur pénètre dans l'appartement et fait monter le mer-

cure; mais au moment où celui-ci touche le premier fil, le courant est établi à travers l'électro-aimant M (fig. 70) de la bouche et détermine sa fermeture. Si le mercure baisse, cette bouche est de nouveau ouverte; mais s'il continue à monter, il rencontre bientôt le second fil qui renvoie le courant à travers l'électro-aimant de la bouche réfrigérante et la fait ouvrir.

S'il s'agissait d'obtenir l'ouverture ou la fermeture d'orifices plus grands que des bouches de chaleur, on pourrait employer à cela l'embrayeur électrique de M. Achard; mais ce moyen ne serait avantageux que dans les usines où se trouverait déjà un moteur, à moins que la force exigée pour la manœuvre de ces orifices de chaleur ne dépassât pas celle que peuvent fournir les mécanismes d'horlogerie.

Calendrier électrique de M. Royer. — M. Royer, auteur de la pendule à sonnerie électrique que j'ai décrite dans le deuxième volume de mon *Exposé*, a cherché à simplifier mon calendrier perpétuel électro-magnétique, en n'employant qu'une seule aiguille indicatrice pour les quantièmes et les différents mois, et en affectant à la désignation des jours de la semaine, un mécanisme spécial, indépendant de celui des quantièmes. Par suite de cette disposition, il n'emploie qu'un seul cadran autour duquel sont marqués les différents jours de l'année, avec les mois auxquels ils correspondent, et il évite ainsi les complications mécaniques qui sont la conséquence de la longueur inégale de ces différents mois.

La fig. 71 ci-contre représente le mécanisme intérieur de cet appareil. Il consiste dans une roue à rochet R, divisée en 366 dents, sur laquelle réagit un électro-aimant E, au moyen des cliquets C et D, et dans un mécanisme à crémaillère AB, mis en action également par l'électro-aimant E, mais par l'intermédiaire d'un répartiteur de Robert Houdin FGH. Ce mécanisme à crémaillère n'est autre chose qu'une longue plaque AI, terminée par la crémaillère IB, qui porte gravés

sur elle les sept jours de la semaine, et qui se meut devant un guichet placé au haut du cadran. Sous l'influence de chaque fermeture de courant opérée toutes les vingt-quatre

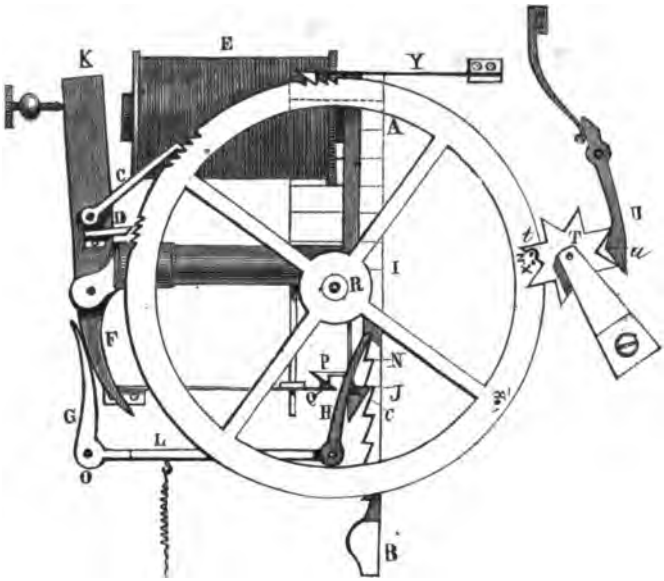


Fig. 71.

heures par l'horloge régulatrice, l'armature de l'électro-aimant E fait sauter une dent de la roue R, et, en réagissant par sa queue F, taillée en courbe de répartiteur, sur le levier coudé LOG, qui oscille en O, et qui est également recourbé en F, il fait avancer le cliquet H d'une quantité NJ qui peut être considérable en raison de la possibilité que donne le répartiteur FG d'écarter beaucoup l'armature KF de l'électro-aimant E. Sous l'influence de cette double réaction, l'aiguille indicatrice avance donc d'un jour sur le cadran, et l'indication du jour de la semaine change dans le guichet. Lorsque après une série de fermetures successives de courant,

la crémaillère IB présente son dernier cran au cliquet H, un renflement B qu'elle porte se présente devant le crochet de retient J, et l'écarte de sa position précisément au moment où le cliquet H pousse ce dernier cran. Or, comme ce crochet de retient est muni d'un petit crochet P, qui glisse sur un autre Q, porté par un ressort, il arrive qu'une fois repoussé, le crochet J ne peut plus reprendre sa position normale, et permet à la crémaillère de tomber, lorsque le cliquet H, après avoir été déjà soulevé par la cheville C, se trouve définitivement écarté de la crémaillère au retour du levier FOG. Toutefois, avant d'être complétement tombée, la crémaillère réagit sur le ressort Q, par l'intermédiaire d'un butoir fixé à la plaque AI, et dégage le crochet J qui peut dès lors reprendre ses fonctions de cliquet de retient.

L'étoile T est établie pour corriger les indications de l'aiguille des quantièmes, lors des années bissextiles. Comme la roue à rochet R est munie de 366 dents, et que, pour correspondre au nombre de jours des années ordinaires, elle devrait n'en avoir que 365, il fallait faire en sorte que cette roue pût sauter de deux dents au 1er mars pour les années ordinaires et d'une seule pour les années bissextiles. Pour cela la roue R porte trois chevilles x, x' et z, dont la dernière n'est éloignée de la cheville x que de l'intervalle d'une dent, et l'étoile T est munie de huit rayons, dont l'un t porte une coche assez profonde pour correspondre en diamètre également à l'intervalle d'une dent de la roue R. Lorsque cette roue R tourne sous l'influence de l'électro-aimant E, la cheville x' rencontre bientôt un rayon de l'étoile T, et au bout de quelque jours de prise, elle le fait échapper sous l'influence du cliquet en coin U, qui fait basculer l'étoile aussitôt que la pointe du rayon opposé à celui qui est en prise a dépassé la partie anguleuse u. Avant cet échappement, l'étoile est maintenue par le cliquet de retient de la roue R, et par la tension exercée par le cliquet U. Quand la seconde cheville x se présente

devant le rayon suivant, ce qui a lieu le 1er mars, le même effet se reproduit; mais le rayon qui suit ce dernier, et qui prend la place de celui-ci sous l'influence du cliquet U, rencontre la troisième cheville z, et la repousse jusqu'à ce quelle ait pris la position de la cheville x, c'est-à-dire de l'intervalle d'une dent. Cette réaction, jointe à l'action du cliquet d'impulsion de l'électro-aimant, produit donc bien au 1er mars l'échappement de deux dents nécessaire pour les indications de l'aiguille pendant les années ordinaires. Maintenant, quand au bout de 4 ans d'indications faites de la manière précédente le rayon t se présente devant la cheville z, après l'échappement déterminé par la cheville x, il ne peut produire aucun effet, car la cheville z entre dans la coche qui se trouve devant elle et n'est pas, par conséquent, touchée. Il n'y a donc alors qu'une dent de la roue R, qui échappe au 1er mars, et c'est celle qui est poussée par le cliquet de l'électro-aimant E. Ainsi se trouve résolu le problème relatif aux années bissextiles.

Le conjoncteur destiné à faire marcher cet appareil est mis comme le mien en action par la roue de compte de la sonnerie d'une pendule; seulement, afin d'éviter la roue intermédiaire, que j'avais établie de manière à ne faire qu'un tour par 24 heures, M. Royer emploie une étoile munie d'un certain nombre de rayons, dont les impairs portent une petite cheville métallique. Cette étoile saute d'un rayon toutes les 12 heures, à midi, sous l'influence d'une cheville adaptée à la roue de compte, et se trouve mise en rapport par son axe avec le circuit du calendrier. Un ressort, qui peut être rencontré par les chevilles de l'étoile au moment où celle-ci échappe, se trouve également interposé dans ce circuit, de sorte que, pour chaque contact entre ce ressort et les chevilles de l'étoile, c'est-à-dire toutes les 24 heures, une fermeture de courant a lieu et cette fermeture produit les différents effets que nous avons analysés.

Mémento ou aide-mémoire électrique de M. Th. Du Moncel.

— Il n'est personne qui n'ait eu souvent à regretter les conséquences d'un oubli involontaire soit pour quelque affaire, soit pour quelque acte de la vie privée. Pour aider le souvenir on a bien imaginé de faire un nœud à son mouchoir ou de faire une marque quelconque sur un objet qui frappe sans cesse la vue; mais ces moyens sont loin d'être suffisants, car ils n'attirent pas spécialement l'attention et d'ailleurs ils n'indiquent pas l'objet pour lequel ils rappellent le souvenir. Le système des notes écrites sur des agendas est bon pour les personnes qui ayant beaucoup d'affaires sont habituées à ouvrir chaque jour leur carnet; mais la plupart du temps on néglige cette précaution, et les personnes distraites sont souvent obligées, quand le souvenir de ce qu'elles ont à faire leur passe par l'esprit à temps, de prier des personnes ayant meilleure mémoire de les faire se

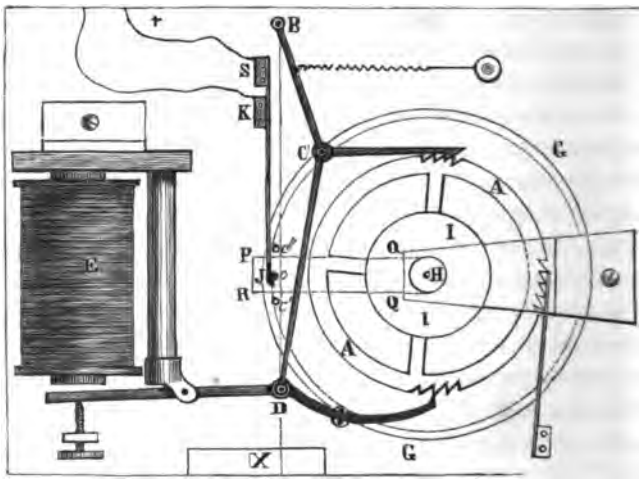


Fig. 72.

ressouvenir, ce qui, par parenthèse, n'a lieu presque jamais. Étant du nombre de ces personnes distraites, j'ai cherché un

moyen électro-mécanique d'éveiller mes souvenirs et j'y suis arrivé de la manière la plus complète au moyen de l'appareil représenté ci-contre, fig. 72.

Cet appareil se compose en grande partie d'un compteur électro-magnétique dont la roue à rochet AA munie de 124 dents laisse échapper 4 dents par jour sous l'influence d'une pendule à laquelle elle est reliée électriquement. Pour que cette roue à rochet puisse avoir un diamètre assez grand (10 centimètres environ, ce qui lui suppose des dents de 2 millimètres et demi), l'électro-aimant E doit réagir sur elle par l'intermédiaire d'un répartiteur BCD. L'axe de cette roue se prolonge au delà du pont sur lequel il pivote et porte un disque de cuivre II servant d'assiette pour maintenir un grand disque de bois ou de carton-pâte peint en blanc GG que l'on fixe au moyen de l'écrou H.

Ce disque de bois, destiné à recevoir les indications au crayon qu'il s'agit de montrer en temps opportun, est divisé, sur le bord de sa circonférence, en 31 divisions numérotées devant chacune desquelles se trouve un petit trou circulaire c, $c'c''$, etc. Des chevilles de cuivre distribuées dans un petit casier X peuvent être introduites à volonté dans ces trous et réagir en passant sur un interrupteur SKJ composé de deux lames de cuivre placées parallèlement l'une à côté de l'autre et isolées métalliquement. L'une de ces lames correspond à la pile, l'autre à une sonnerie électrique ou mieux à un simple trembleur sans timbre placé derrière l'instrument. Tout ce mécanisme est enfermé dans une petite boîte dont la devanture est montée à charnière comme une porte et se trouve percée en OPQR d'un guichet.

Les fermetures de courant opérées à travers le compteur de l'instrument sont provoquées par deux chevilles placées sur le chaperon de la sonnerie de la pendule (devant les crans de midi et de six heures) et qui rencontrent quatre fois par jour l'une des lames d'un interrupteur placé à portée.

Comme le disque d'ivoire n'a que 31 divisions alors que la roue à rochet qui commande son mouvement a 124 dents, une division seulement du disque d'ivoire passe chaque jour devant le guichet de l'appareil, de sorte que ces différentes divisions correspondent aux différents jours du mois.

Pour faire usage de cet instrument on retire, au commencement de chaque mois le disque GG de l'appareil en dévissant l'écrou H, puis on écrit au crayon en face de celles des divisions du disque qui, par leur numéro d'ordre, correspondent aux jours du mois que l'on veut signaler, les avertissements qui doivent être fournis. Puis on replace le disque à sa position normale en ayant soin de placer la première division devant l'interrupteur SKJ. On fixe alors des chevilles de cuivre dans les trous correspondants aux indications écrites, et l'appareil est prêt à agir. En effet, tant qu'aucune cheville ne se présente devant l'interrupteur SKJ l'appareil fonctionne comme un compteur ordinaire, en faisant échapper chaque jour une division du disque GG. Mais lorsqu'une cheville arrive en J, un contact métallique se trouve bientôt établi entre les deux ressorts SJ, KJ, et la sonnerie électrique entre en mouvement. Comme ce tintement de la sonnerie pourrait durer six heures, il est certain qu'à un moment ou à un autre on finira par être prévenu, et en regardant dans le guichet OPQR on saura pour quelle affaire on est ainsi averti.

On comprend aisément qu'on pourrait, dans le cours du mois, inscrire de nouvelles indications ou détruire les anciennes sans même démonter le disque GG, car il suffirait pour cela de coller sur ce disque de petits morceaux de papier sur lesquels seraient écrites ces nouvelles indications ou d'effacer avec un chiffon mouillé les traces au crayon dont il n'est plus besoin; mais il faudrait avoir soin dans un cas de placer de nouvelles chevilles et dans l'autre de retirer celles qui sont devenues inutiles.

L'appareil précédent pourrait aussi être établi avec un compteur à crémaillère et s'adapter aux différents jours de la semaine au lieu de correspondre aux différents jours du mois; ce ne sont que des substitutions de mécanisme à effectuer et qu'il est aisé de deviner. Il en serait de même dans le cas où l'on voudrait adapter ce système à une horloge sans l'intermédiaire du compteur électro-magnétique. Ce seraient alors deux doigts adaptés à l'axe du chaperon de la sonnerie qui produiraient l'échappement de la roue AA, laquelle serait à chevilles au lieu d'être à rochet. Enfin les chevilles du disque GG, au lieu de réagir en produisant une fermeture de courant, pourraient déclancher une sonnerie mécanique. Mais ces différents systèmes seraient en définitive moins simples et plus encombrants que celui que nous avons décrit.

On pourrait objecter à notre appareil que les mois étant d'inégale longueur, on se trouve obligé de les régler à la main une fois par mois; mais nous répondrons à cela que, comme on est obligé de toucher à l'appareil pour inscrire les indications du mémento, on peut du même coup faire ce règlement. Si nous avions cherché à faire de cet appareil un calendrier perpétuel, comme du reste nous l'avons déjà fait, nous lui aurions retiré toute sa simplicité, et il n'aurait plus été dès lors d'un usage pratique. D'ailleurs, l'indication du nombre de jours des différents mois se trouve gravée sur la devanture ouvrante de l'appareil; et une cheville, placée d'une manière fixe à la division 28, avertit toujours, vers la fin du mois, de regarder cette table pour opérer à temps la correction voulue, ce qui ne nécessite généralement qu'une impulsion à la main (trois au plus) communiquée à l'armature de l'électro-aimant.

En combinant cet appareil à mon système de réveil électrique, que j'ai décrit page 72 (3e vol. de l'*Exposé*), on pourrait faire en sorte que le tintement de la sonnerie ne s'effectue

qu'au moment même où il en est besoin. Il suffirait pour cela d'interposer le réveil dans le circuit de la sonnerie fermée par les ressorts SJ, KJ. Alors, malgré le contact des chevilles du disque d'ivoire, la sonnerie ne pourrait fonctionner qu'autant que l'aiguille des minutes du réveil aurait rencontré le butoir indicateur de l'heure. Ce système, au fonctionnement duquel on pourrait affecter le pendule même qui réagit sur le compteur, aurait toutefois l'inconvénient de ne pas fournir des appels d'assez longue durée, car on peut être absent au moment du tintement de la sonnerie. Il vaut mieux, je crois, adapter un interrupteur à la sonnerie, pour couper le courant, quand on a entendu le signal, afin que le bruit n'importune pas; d'ailleurs, au moyen d'un second contact adapté à cet interrupteur, et d'un second interrupteur placé devant le chaperon de la pendule, on pourrait faire répéter à toutes les heures un tintement, jusqu'à l'expiration du délai voulu, pour réveiller le souvenir.

Nouveau transmetteur de sonneries domestiques de M. de Vigand.—Nous sommes entrés dans de longs détails, dans le 3e volume de notre *Exposé*, sur les sonneries électriques employées dans l'économie domestique, et nous avons vu que, parmi les importants accessoires que M. Mirand leur avait ajoutés, se trouvait un transmetteur à réponse destiné à faire connaître à celui qui sonne si le domestique ou l'employé qui a été appelé se trouve présent, ou tout au moins s'il a entendu l'avertissement. « Ce système, dit M. de Vigand, ne peut servir que pour les maisons où il y a constamment une personne occupée dans les environs de la sonnerie d'appel. Dans les petites maisons où un seul domestique doit tout faire et peut, par conséquent, se trouver en tout autre endroit du logis qu'à celui où est installée la sonnerie, ceux qui font usage d'un pareil transmetteur s'exposent souvent à sonner inutilement, dans les moments où le domestique est éloigné, et à ne pas sonner dans les moment

où il pourrait entendre. Pour obvier à ces inconvénients, j'ai, continue-t-il, imaginé un nouveau transmetteur qui, une fois touché, remonte lui-même la plaque de réponse et met la sonnerie en mouvement jusqu'à ce que le domestique ait répondu en provoquant l'abaissement de la plaque de réponse qui avait été remontée. »

Le mécanisme de cet appareil est représenté fig. 14 et 15, pl. III. Il se compose essentiellement d'un rhéotome conjoncteur à crochet de Tyer, réagissant à la fois sur une sonnerie électrique et sur un système de poulies auquel est adaptée la plaque à réponse. Ce rhéotome est constitué par un électro-aimant E, soutenu sur un pont doublement coudé H (fig. 14, 15 et 14 *bis*) et dont l'armature *r t s*, pivotant en *t*, est terminée en *s* par un crochet que l'on distingue plus facilement fig. 15 et 15 *bis*. Cet électro-aimant communique, d'une part, avec un petit ressort de contact *p*, qui peut être facilement abaissé, et, de l'autre, avec un relais réagissant sur un circuit de pile locale dans lequel est interposée la sonnerie. Le transmetteur proprement dit consiste dans une espèce de clef adaptée extérieurement à l'appareil sur l'axe de la poulie F, qu'il doit faire tourner d'un quart de cercle. Cette poulie porte un doigt flexible *f*, et se trouve mise directement en rapport avec la pile par l'intermédiaire d'un fil *t'* et d'un ressort spiral *g*, destiné à la rappeler toujours dans une position fixe (celle représentée fig. 14). Enfin, sur cette poulie est fixée l'extrémité d'un fil qui, après s'être enroulé sur une poulie de renvoi C, soutient la plaque à réponse A, laquelle est représentée abaissée sur la figure. Cet appareil fonctionne de la manière suivante :

Au moment où l'on tourne la clef du transmetteur, le doigt *f* tourne avec la poulie F et rencontre bientôt le ressort *p*, qui complète le circuit à travers l'électro-aimant E et le relais de la sonnerie. Celle-ci se met donc à tinter, et le crochet *s* de l'armature *r s t*, se trouvant abaissé par suite de

l'attraction de l'électro-aimant E, clanche le doigt *f* aussitôt qu'il est arrivé en H. Mais, en même temps que ce mouvement s'est opéré, la poulie F a réagi sur le fil qui soutient la plaque A, de sorte que celle-ci se trouve soulevée devant le guichet A′ quand le clanchement du doigt *f* a lieu.

Tant que le circuit complété par l'électro-aimant E, le ressort *p*, le doigt *f* et le relais n'est pas interrompu, la sonnerie continue de tinter et la plaque A reste soulevée; mais quand la personne appelée, ayant fini par entendre l'avertissement qui lui a été donné, vient interrompre le circuit à un disjoncteur établi en conséquence près de la sonnerie, celle-ci se tait, l'électro-aimant E devient inactif, l'armature *rst* s'éloigne, le doigt *f* se trouvant déclanché revient à sa position initiale sous l'influence du spiral *g*, et la plaque A s'abaisse pour laisser apparaître dans le guichet A′ les mots : *on vient*. Comme le contact du doigt *f* avec le ressort *p* a cessé par le fait même de son déclanchement, le courant ne peut plus réagir sur la sonnerie quand bien même le disjoncteur aurait rétabli le circuit avant le retour de la poulie F à sa position normale.

Système de sonneries d'appel pour les établissements agricoles et industriels. — Je viens d'établir à la ferme-école de Martinvast un système de sonneries d'appel basé sur les nécessités du service, dont je crois utile de dire ici quelques mots, car il peut être appliqué avantageusement dans une foule de circonstances différentes.

Le problème que j'avais à résoudre était de donner la possibilité au directeur de la ferme-école, demeurant à une certaine distance du bureau de l'exploitation : 1° d'appeler directement ou de faire appeler, suivant le besoin, l'un ou l'autre des trois chefs de l'exploitation, en faisant apparaître à demeure le nom du chef appelé et en prolongeant indéfiniment le tintement de la sonnerie pour rendre le signal effectif en cas d'absence momentanée des employés du

bureau; 2° d'être prévenu si le chef appelé se trouve ou non présent. Voici comment j'ai disposé mes appareils.

J'ai d'abord eu recours au système d'avertisseur des concierges, que j'ai décrit page 99, volume III de l'*Exposé* aux sonneries électriques de Mirand et au transmetteur à réponse du même inventeur dont il a été question page 90, même volume. J'ai, de plus, ajouté un rhéotome conjoncteur dont on verra plus loin l'utilité.

L'appareil d'appel est à deux guichets et est mis en mouvement, de la chambre du directeur, par deux commutateurs à renversement de pôles que nous avons décrits page 270, volume Ier de l'*Exposé*; suivant qu'on appuie le doigt sur l'un ou l'autre des deux boutons dont chacun de ces appareils est muni, on fait apparaître, dans le guichet correspondant, deux noms différents, en tout quatre noms pour les deux commutateurs. Ce seront, par exemple, les noms X, Y, Z, W. En face du barreau aimanté, agissant sur la plaque du premier guichet et très-près de l'axe d'oscillation de ce barreau, est adapté un ressort très-flexible qui constitue avec le barreau lui-même le rhéotome dont nous avons parlé et qui réagit par sa liaison avec la sonnerie d'appel et une pile locale, de manière à produire un tintement toutes les fois que le barreau, en s'inclinant, le rencontre à l'un des points extrêmes de sa course. Comme le barreau se trouve maintenu dans ces positions extrêmes en raison de la réaction magnétique échangée entre lui et l'électro-aimant qui en commande le mouvement, le tintement de la sonnerie persiste indéfiniment, et pour le faire cesser il faut que le barreau aimanté soit repoussé du côté opposé au ressort constituant rhéotome, ce qui s'effectue naturellement quand le nom change dans ce premier guichet, ou quand on envoie, du bureau même où se trouve l'appareil d'appel, un courant de la pile locale produisant le même effet. Pour cela j'adapte, à côté de l'appareil en ques-

tion, un bouton transmetteur à double contact qui est relié d'une part avec la pile locale et l'électro-aimant du guichet, de l'autre avec ce même électro-aimant et le bouton d'attache de la sonnerie auquel aboutit le deuxième pôle de cette même pile.

Enfin un commutateur à renversement de pôles analogue à ceux dont nous avons parlé, et sur les boutons duquel sont gravés ces mots *on vient* — *absent*, est encore établi auprès de l'appareil d'appel et permet de correspondre avec le transmetteur à réponse placé dans la chambre du directeur en empruntant à l'appareil d'appel deux ou un de ses fils (qui sont au nombre de quatre); il vaut toutefois mieux n'en employer qu'un et prendre un fil direct pour le retour du courant. Voici maintenant comme ce système fonctionne :

Quand le directeur veut appeler Z, il presse d'abord le bouton de X qui est affecté indistinctement à tous les employés présents dans le bureau; sous l'influence de cette pression, le nom X apparaît dans le premier guichet de l'appareil d'appel, et immédiatement le rhéotome est mis en action pour mettre en marche la sonnerie qui tinte indéfiniment sous l'influence de la pile locale du bureau; le bouton Z est ensuite touché et apparaît dans le deuxième guichet au moment où l'un des employés, averti par la sonnerie, arrive pour recevoir l'avis. Celui-ci touche alors le bouton transmetteur à double contact, fait apparaître le nom Y dans le premier guichet, et empêche le tintement de la sonnerie; puis il fait fonctionner le commutateur à renversement de pôles pour envoyer la réponse, c'est-à-dire pour informer le directeur si Z est présent ou absent.

On appellerait W de la même manière que Z; mais pour Y l'effet serait différent, car la position de la bascule correspondante à ce nom étant celle qui doit être maintenue en temps normal pour empêcher la sonnerie de tinter, le nom Y reste toujours présent au guichet, et, comme il ne peut avoir de valeur qu'autant que la sonnerie l'a signalé à l'attention, il

faut que X reparaisse en premier lieu : il en résulte que, dans ce cas, le tintement de la sonnerie n'est plus indéfini et cesse, non sous l'influence des employés du bureau, mais sous celle du directeur lui-même quand il touche le bouton Y.

Pour obtenir économiquement mon câble, composé de cinq fils, j'ai pris simplement cinq fils de fer galvanisés de la longueur voulue, et je les ai étendus sur une série de petites planches placées à plat au fond de la tranchée, en les entortillant de distance en distance sur des pointes, de manière à ce qu'ils soient soulevés d'un centimètre environ au-dessus de la planche ; puis j'ai versé, sur toute l'étendue de ces planches, une couche de bitume de 3 centimètres environ d'épaisseur, en ayant soin de bien noyer les fils et d'enlever les pointes de soutien après le séchage et le planissage du bitume. J'ai introduit ensuite dans les trous, ainsi formés par les clous, un mélange liquide de bitume et de résine, et après avoir appliqué sur la couche de bitume une seconde série de planches de mêmes dimensions que les premières, et les avoir clouées ensemble sur les bords, j'ai enduit ces bords à la truelle avec du bitume, de manière à faire disparaître les joints. Enfin, j'ai recouvert les planches

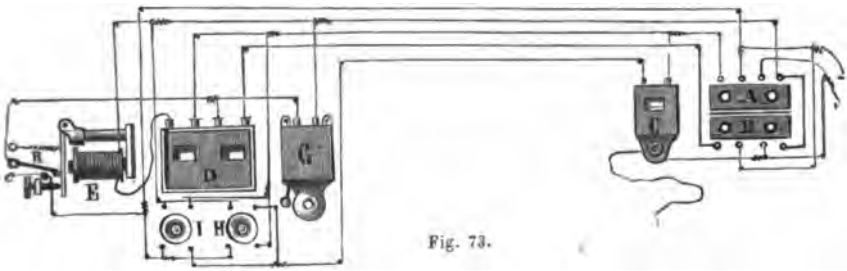


Fig. 73.

elles-mêmes d'une bonne couche de coltare afin de conserver les bois, et j'ai garni le tout de terre glaise.

On aurait pu disposer les appareils, ainsi qu'on le voit figure ci-dessus, en rendant le rhéotome complétement indé-

pendant de l'appareil d'appel ; mais le système aurait été beaucoup moins simple et beaucoup moins sensible, car la résistance de l'électro-aimant E aurait augmenté d'autant la résistance de la ligne par rapport à l'appareil d'appel. Ce rhéotome n'est d'ailleurs qu'un électro-aimant, dont l'armature étant attirée décroche un petit ressort R qui, en venant tomber sur un butoir, ferme le courant d'une manière permanente à travers la sonnerie, jusqu'à ce qu'il soit accroché de nouveau sur l'armature.

Le rhéotome adapté à la bascule de l'appareil d'appel, dans le premier système que nous venons de décrire, pourrait être appliqué, avec avantage, au transmetteur à réponse de Mirand, pour résoudre plus simplement et avec une pile seulement le problème qu'a résolu M. P. de Vigand. En effet, le courant qui traverse ce transmetteur pour ramener au blanc la réponse en même temps qu'on fait marcher la sonnerie, peut provoquer, au moyen de ce rhéotome, un contact persistant, qui ne cesse que quand la personne appelée a fait apparaître sur ce transmetteur le mot *on vient*.

Loch électrique. — Tous les journaux qui, l'année dernière, se sont occupés des essais de la pose du télégraphe transatlantique ont parlé de la manière suivante de l'usage qui avait été fait d'un loch électrique soi-disant inventé par M. Bright, mais qui n'est, en définitive, que la copie de celui que j'ai imaginé en 1853, et qui est décrit page 91 du 3e volume de mon *Exposé :*

« Pendant ce même temps (le temps de la pose du câble), dit le *Mechanic's Magazine,* M. Ch. Bright faisait, avec le *plus grand succès,* l'essai d'un loch électrique, *ou appareil inventé* par lui, pour mesurer avec une exactitude très-grande, au moyen de l'électricité, la vitesse des navires.

« Le loch, suspendu à l'arrière du navire par une corde, descend dans l'eau, emportant dans son sein un double fil conducteur recouvert de gutta-percha, en communication

avec une pile et un électro-aimant faisant partie d'un second appareil installé sur le pont et appelé indicateur. Le loch est muni d'une roue dont le nombre de tours est proportionnel à la vitesse du navire. Chaque tour de roue détermine la rupture du circuit électrique, et cette rupture fait, à son tour, avancer d'un pas une aiguille mise en mouvement par l'électro-aimant. Cette aiguille enregistre donc le nombre de tours et en même temps la distance parcourue par le navire et la vitesse avec laquelle cette distance a été parcourue. »

Régulateur des courants électriques de M. Regnard. — M. Regnard a encore appliqué à ce genre d'appareils le principe de ses enregistreurs météorologiques et de son régulateur de lumière électrique.

Cet appareil se compose de deux parties : la première est un galvanomètre construit d'après les principes de la boussole à *sinus*. Suivant la force du courant qu'on veut régulariser, on peut substituer à l'aiguille un barreau d'acier aimanté; on peut aussi ajouter à l'action du magnétisme terrestre celle du ressort; le courant sur lequel l'appareil doit agir circule sur le cadre de ce galvanomètre. — Le mécanisme est conduit par une pile spéciale, son courant négatif arrive au pivot qui porte l'aiguille aimantée; une aiguille de platine, disposée en croix avec celle-ci, le distribue à deux contacts isolés disposés au point de repère, comme je l'ai déjà dit pour le galvanométrographe; enfin un cercle divisé mobile mesure la force du courant de la même manière que dans la boussole à sinus.

La seconde partie de l'appareil est le régulateur proprement dit; il se compose d'un vase rempli d'un liquide convenablement conducteur dans lequel plongent deux plaques métalliques; le courant qu'on doit régulariser passe par ces deux plaques et par le liquide qui les sépare; elles immergent en se rapprochant plus ou moins par l'action qu'exer-

cent sur elles la vis micrométrique et la roue R des appareils décrits pages 415 et 416.

On place la boussole au degré d'intensité qu'on veut donner au courant. Si, dans la position des plaques immergées, cette intensité surpasse le degré voulu, l'aiguille tendra à dévier au delà du point où l'on aura placé les contacts qui remplacent le repère; elle touchera le contact qui fait embrayer le cliquet disposé pour faire remonter la vis micrométrique et les plaques immergées : la force du courant diminuera avec les surfaces d'immersion, et ce mouvement ne s'arrêtera que lorsque cette force sera arrivée au degré voulu; alors l'aiguille de la boussole quittera le contact qui a déterminé la réaction, et la roue R restera en repos. S'il survient une variation dans l'intensité du courant, si elle diminue, par exemple, l'aiguille de la boussole tendra à revenir en deçà du point fixé, elle touchera le second contact qui fait embrayer le cliquet disposé pour faire descendre la vis micrométrique et augmentera ainsi les surfaces immergées.

On comprend par là que la force du courant se placera et se maintiendra automatiquement au point marqué d'avance par la boussole.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, on peut employer pour ce genre d'appareils la balance rhéométrique que nous avons décrite page 162, en la substituant à la boussole des sinus. On place alors dans le bassin de la balance rhéométrique le poids correspondant à l'intensité du courant qu'on veut obtenir. Si le courant est trop faible, le poids du bassin enlève le contre-poids qui, touchant un butoir d'arrêt supérieur, ferme le circuit de la pile et anime ainsi le mécanisme qui agit sur la roue-écrou du régulateur et la fait tourner dans le sens voulu pour abaisser les deux plaques immergées. Si, au contraire, le courant est trop énergique, le bassin est enlevé, et le contre-poids, en tombant sur un butoir d'arrêt inférieur, anime l'autre mécanisme qui agit en sens

contraire sur la roue-écrou. Cette roue ne cessera de fonctionner pour faire écarter ou rapprocher les plaques immergées, que quand le courant ayant l'intensité correspondante aux poids du bassin, le fléau se maintiendra à son point d'équilibre sans toucher ni l'un ni l'autre des deux butoirs d'arrêt.

On peut aussi mettre ces butoirs en rapport avec un système de sonnerie qui avertit simplement des variations du courant.

Métronome électrique. — Nous avons déjà parlé de cet instrument dans le troisième volume de notre *Exposé*, p. 123, mais sans en donner une description complète, faute de renseignements. Depuis la publication de ce volume, M. Tassine, luthier bayeusin, qui semble avoir la priorité de cette invention, m'a écrit la lettre suivante dans laquelle on pourra trouver tous les documents nécessaires pour l'intelligence de ce genre d'application, et qui montrera une fois de plus combien les inventeurs sont dignes d'intérêt, non-seulement par le courage et l'ardeur qu'ils déploient dans leurs recherches, mais encore par les ennuis sans nombre que leur suscitent leurs inventions, toutes bonnes qu'elles puissent être.

. . . . . .

« Je ne chercherai pas, Monsieur, à m'excuser de ne vous avoir pas envoyé plus tôt les renseignements que vous m'avez demandés; je confesse ma négligence, et je trouve que vous vous êtes montré généreux à mon égard en publiant, dans votre excellent ouvrage, ma réclamation.

« La fatalité qui jusqu'ici a poursuivi les quelques inventions et perfectionnements que j'ai trouvés m'a en quelque sorte dégoûté de mes découvertes, qui auraient pu donner la fortune à un autre, mais qui ne m'ont procuré à moi que soucis et que gêne. C'est dans un de ces moments de découragement, si connus des inventeurs, et alors que je maudissais mes inventions, dont l'une d'elles venait d'être pour moi

l'objet d'une perte de 1,500 francs, que je reçus votre lettre. Mais j'étais découragé; je me promis pourtant d'y répondre : huit jours se passèrent, puis quinze, et plus tard je n'osai plus.

. . . . . .

. . . . . .

« J'arrive à l'objet de votre lettre. En 1855, le maître de chapelle de la cathédrale de Bayeux me demanda s'il serait possible, au moyen d'un mécanisme quelconque, de faire accompagner les choristes par l'organiste, quoique ce dernier ne pût, de l'endroit où il était placé, les voir ni les entendre. Je cherchai à résoudre ce problème, et l'idée d'appliquer l'électricité au métronome me vint à l'esprit. Je croyais que cette idée n'était pas nouvelle, et je ne m'en préoccupai pas davantage. Mais voilà que l'Exposition universelle une fois close, on parle d'un métronome électrique comme d'une chose *inconnue en France*... Alors M. l'abbé Marais, chanoine, et M. Delarue, imprimeur, qui, comme chanteurs solistes, avaient été accompagnés par l'orgue au moyen de cet instrument, crurent bon de réclamer pour l'honneur du pays la priorité de cette application, et ils insérèrent l'article que vous avez reproduit.

« Maintenant voici quelques détails sur l'instrument en question qui est très-simple :

« Ce n'est rien autre chose qu'un électro-aimant surmonté d'une petite barrette de fer (armature) relevée par un ressort à une distance de 5 à 10 millimètres de la bobine la plus éloignée de son axe, suivant l'énergie de la batterie. Un appareil manipulateur qui se place soit par terre pour être touché avec le pied, soit sur le pupitre pour être touché par la main ou l'archet du chef d'orchestre, complète avec les fils conducteurs le système.

« Dans l'application que j'ai faite de cet instrument, l'électro-aimant métronome était placé en face de l'organiste, et le

manipulateur se trouvait dans le chœur de la cathédrale. Ces deux appareils étaient par conséquent séparés par toute la longueur de l'église; mais des conducteurs dissimulés à la vue établissaient une relation entre eux et une pile de huit éléments Daniell (modèle Breguet), de sorte que chaque mesure marquée sur le manipulateur avait pour effet un coup sec frappé par la barette de fer sur l'électro-aimant, lequel était aussi bien entendu que perçu par l'organiste accompagnateur. J'avais pensé à ajouter à l'appareil un timbre, mais les vibrations de celui-ci pouvant être nuisibles, j'abandonnai cette idée. »

Harmonica électrique de M. Petrina. — Puisque nous parlons d'application de l'électricité à la musique, disons quelques mots de l'appareil auquel M. Petrina, de Prague, a donné le nom d'harmonica électrique, quoiqu'à proprement parler il ne soit pas un instrument de musique.

Le principe de cet appareil est le même que celui du rhéotome de Neef, au marteau duquel on a substitué une baguette dont les vibrations transversales produisent un son. Quatre de ces baguettes, différentes en longueur, sont placées l'une à côté de l'autre, et étant mises en mouvement au moyen de touches, puis arrêtées par des leviers, produisent des sons de combinaison dont il devient facile de démontrer l'origine.

Dans la première édition de mon *Exposé des applications de l'électricité,* page 168, tome Ier, j'avais décrit un appareil analogue à celui qui précède; mais j'y avais attaché si peu d'importance, que je n'en ai même pas parlé dans ma seconde édition. Il est vrai qu'au lieu d'en faire un appareil de démonstration, je voulais en faire un véritable harmonica.

Application de l'électricité au tirage des mines. — Nous avons longuement parlé, dans notre troisième volume et notre notice sur la machine de Ruhmkorff, de l'application de l'électricité au tirage des mines, et particulièrement au

tir des mines-monstres que l'on a construites pendant quatre ans au port militaire de Cherbourg et qui sont actuellement employées à Marseille, à Brest, en Angleterre, en Italie et même en Russie. Dans notre première appréciation, nous avions cru que les avantages de ce système de tir ne pouvaient exister que pour les mines renfermant des quantités considérables de poudre et disposées d'après le système que nous avons décrit. Mais nous ignorions alors qu'il fût possible de creuser au burin de petites mines dans les mêmes conditions que les grandes, et nous n'avions considéré que la question du prix des fusées d'explosion. Aujourd'hui, grâce à l'invention d'un nouveau système de burin, que nous allons décrire, les petites mines disposées par groupes et enflammées par les procédés électriques, peuvent présenter presque autant d'avantages que les grandes dans les travaux secondaires de déblaiement, et on le comprendra facilement d'après les considérations suivantes :

Les mines qui sont utilisées journellement pour faire sauter les rochers, soit dans le but de percer une galerie, soit pour creuser un bassin, soit même pour l'exploitation des pierres qui composent ces rochers, consistent, comme chacun le sait, dans des trous tubulaires de 1 à 2 mètres de longueur, qui sont creusés au moyen de burins en fer et acier, sur lesquels on frappe des coups réitérés. Pour conduire cette opération, il faut toujours deux hommes, l'un qui frappe à grands coups de masse sur le burin, l'autre qui tient le burin et qui le tourne sur lui-même après chaque coup de masse. Une mine d'un mètre exige souvent quatre heures pour être creusée, et malheureusement l'effet produit jusqu'à présent par ces sortes de mines ne répond pas toujours à la peine qu'on prend pour les organiser. Le peu d'effet des mines tubulaires vient de ce que la bourre qu'on introduit à l'intérieur du tube ne présente pas une résistance suffisante à la force expulsive de la poudre; elle fait plus ou moins

balle, et la mine elle-même, agissant ainsi comme un canon de fusil, n'éclate pas avec assez de fracas pour bien déchirer le rocher. On a donc dû rechercher les moyens d'éviter cet inconvénient, et la première idée qui est venue à l'esprit a été naturellement de pratiquer au fond de ces mines une petite chambre assez spacieuse pour contenir plusieurs kilogrammes de poudre. Dans une pareille chambre, en effet, le trou de la mine n'occupe qu'une très-faible partie de la surface exposée à l'action de la poudre, et dès lors celle-ci peut exercer son effet utile sur des parois résistantes, qui ne peuvent céder qu'en brisant le rocher de toutes parts. Comment obtenir de pareilles chambres à l'extrémité des mines tubulaires? Tel était le problème qu'il a fallu résoudre. Or, ce problème, comme on va en juger, n'est pas simple au point de vue de la pratique, et c'est pourquoi ces mines n'avaient pu être jusqu'à présent exécutées d'une manière satisfaisante.

Quand le rocher à exploiter est de nature calcaire, le creusement de la chambre en question peut se faire chimiquement; il ne s'agit pour cela que de verser au fond du trou une certaine quantité d'eau acidulée, et dès lors le creusement s'opère naturellement. Mais, la plupart du temps, les rochers ne sont pas calcaires, et une action mécanique devient dès lors indispensable. On a essayé à plusieurs reprises plusieurs systèmes de burins à lames articulées qui, venant à s'écarter sous l'influence du choc transmis à la barre rigide qui les maintenait, transformaient la force vive verticale en force vive horizontale; mais de pareils instruments étaient mis en quelques instants hors d'état de servir; les articulations étaient toujours brisées. Dans le système de M. Verjus, ces accidents sont impossibles, car les organes contondants destinés à creuser la mine sont mis en action par un effort analogue à celui d'un coin qu'on enfonce dans une pièce de bois.

La figure 75 représente cet appareil avec ses lames contondantes CD, EF repliées, tel qu'il doit être au moment où on l'enfonce à l'intérieur de la mine tubulaire.

Fig. 74.

La figure 74 le représente déployé au moment où la chambre de la mine est complétement creusée. Il se compose, comme on le voit, d'une tige AB qui peut avoir 2 ou 3 mètres de long, et qui se termine par une large et épaisse palette BI, à l'intérieur de laquelle se trouvent découpées deux rainures, dont le fond constitue deux plans inclinés fortement aciérés. L'un de ces plans inclinés se voit en pointillé en GH, l'autre est placé en arrière et se trouve disposé d'une manière inverse à GH. A l'extrémité de la palette BI se trouvent fixés, l'un d'un côté, l'autre de l'autre, deux rivets, dont un seulement I est visible sur nos deux figures. Les rivets s'engagent dans une rainure IJ creusée sur le plat de chaque lame contondante, et ces lames contondantes elles-mêmes, fortement aciérées, sont articulées ensemble en CE au moyen d'un fort

écrou. Enfin, les rainures, dont une seule IJ se voit sur nos figures (l'autre étant sur la face cachée de la lame EF), sont légèrement arrondies, de manière à placer toujours le dos EKD, CLF des deux lames en contact avec les plans inclinés GH, qui leur correspondent, comme on le voit du reste, sur nos deux figures. Voici maintenant comment on fait usage de cet instrument :

D'abord en le maintenant verticalement, les lames CD, EF se replient d'elles-mêmes par leur propre poids, de sorte que pour peu qu'on le soulève quand il est déployé comme dans la figure 74, il prend inmédiatement la disposition de la figure 75. C'est ainsi replié qu'il est introduit dans la mine

Fig. 75.

tubulaire, jusqu'à ce que l'articulation CE appuie au fond de la mine. On applique alors à l'extrémité de la tige AB quelques coups de masse, et, sous cette impulsion, les plans inclinés GH forcent les lames CD, EF à s'écarter latéralement en leur communiquant la force vive que la tige AB a reçue elle-même. Les parois de la mine en D et en F se trouvent donc

attaquées et légèrement creusées. On tourne alors d'une petite quantité l'instrument sur lui-même et on lui applique de nouveaux chocs ; les mêmes effets se reproduisant, une nouvelle morsure est faite aux parois de la mine, et en opérant ainsi successivement, on finit par obtenir le déploiement successif des lames CD, EF, et par suite une chambre qui a la forme d'une poire assise sur son petit sommet, comme l'indique la figure 74. Cette forme de la chambre présente beaucoup d'avantages. D'abord la poussière, qui résulte du creusement de la mine, se réunit au fond de la cuvette DCEF, et il est facile, au moyen d'une cuiller, de la retirer ; en second lieu, les parois supérieures de la chambre étant plus plates, la force expansive de la poudre dirigée suivant les flèches réagit plus efficacement.

Quoique la manipulation de cet instrument soit bien simple, ainsi qu'on peut en juger, et se rapproche considérablement de celle des burins droits dont on se sert actuellement, elle exige pourtant une certaine habitude, que l'on peut du reste acquérir en quelques jours. Ainsi, il faut tourner l'instrument extrêmement peu sur lui-même après chaque coup de masse, et d'autant moins que la chambre s'agrandit ; ce que l'on conçoit du reste parfaitement si l'on examine que le déplacement des lames CDEF en raison de leur diamètre est beaucoup plus considérable que celui de la tige AB. Si on ne prenait pas ce soin, des inégalités surviendraient dans la rondeur du trou, et on ne pourrait plus achever la chambre.

Il faut aussi, quand on veut creuser de grandes chambres, employer plusieurs numéros successifs de ces burins. Ainsi, on commencera, je suppose, avec un burin donnant une chambre de 15 centimètres de diamètre, et on finira par un burin qui l'agrandira du double ou du triple.

L'effet de ces mines est considérable. Dans les expériences qui ont eu lieu à Cherbourg, une mine de trois mètres, terminée par une chambre de trente centimètres de diamètre,

et renfermant quatre kilogrammes de poudre, a pu faire sauter une masse de pierre estimée à trois cents mètres cubes. La manière dont elles se comportent est en tous points semblable à celle des mines-monstres dont nous avons parlé; aussi, nul doute que, pour ces sortes de mines, l'emploi de mon système d'inflammation ne fût fort avantageux, surtout si on les réunissait au nombre de vingt ou trente, dans des conditions telles qu'un ébranlement simultané pût réagir sur tout leur ensemble.

Cette question des mines nous ramène aux mines-monstres et nous conduit à entrer dans quelques details sur l'utilité de l'emploi de deux appareils de Ruhmkorff pour le tir de ces mines, précaution que nous avons signalée sans l'expliquer, page 298, tome III de notre *Exposé*. Pourquoi deux machines d'induction lorsqu'une seule est plus que suffisante pour enflammer deux mines? pourquoi un double interrupteur et un manipulateur en forme de fourche, destiné à réagir sur les deux interrupteurs en même temps? Telles sont les questions auxquelles il s'agit de répondre.

Tous ceux qui ont expérimenté les fusées Stateham savent parfaitement qu'elles ne font pas toutes explosion exactement en même temps. Or, avant la disposition que nous venons de signaler, il arrivait que, dans une mine à deux ou trois galeries, cette petite différence de temps entre les explosions provoquait la rupture des fils à l'intérieur de la mine, si bien que la mine partielle qui avait fait, la première, explosion, partait seule. Or, en faisant aboutir celles des mines partielles appartenant aux galeries nord, je suppose, de chaque système de doubles mines à l'un des commutateurs dont nous avons parlé, et en faisant aboutir à l'autre commutateur les mines partielles appartenant aux galeries sud, on peut, au moyen du manipulateur en fourchette, fermer simultanément, dans chaque système de doubles mines, les deux courants d'induction, et, partant, les inconvénients que nous avons signalés

ne sont plus à craindre. Avec cette disposition le système que nous avons décrit est tout à fait infaillible, et c'est celui qui a été définitivement adopté.

Comme je l'ai déjà dit, le spectacle de ces mines-monstres a quelque chose de sublime et d'imposant. Au moment où le feu est communiqué à la poudre, la partie supérieure du talus escarpé sur lequel sont établies ces mines se soulève en l'air, sur une épaisseur de cinq à six mètres, en donnant lieu à des déchirures profondes qui forment à la vue comme des lignes de sape suivant le lit du rocher. Aussitôt après que cette masse soulevée retombe sur les flancs du talus, un tourbillon immense de fumée enveloppe le monticule et le dissimule quelques instants aux yeux; mais bientôt on distingue à travers cette fumée quelques sommets mutilés qui ont échappé au bouleversement général, et qui semblent restés là comme pour accuser toute l'étendue de ce bouleversement. On dirait d'un de ces changements de décors à vue avec lequel l'Opéra nous a si souvent familiarisés.

Il ne faudrait pas croire que la partie du rocher qui n'a pas été soulevée par l'explosion n'ait pas subi l'effet de la mine. Si elle ne s'est pas écroulée, c'est que le poids de la partie supérieure qui est descendue sur ses côtés l'a maintenue. Mais si on l'examine de près, on voit qu'elle est sillonnée de tous côtés par des crevasses qui en rendent dès lors l'exploitation facile. Quelquefois cependant, quand la résistance du rocher est plus faible à un endroit qu'à un autre, l'ébranlement général est beaucoup moins considérable parce que la partie la plus faible de ce rocher forme boulet et se trouve projetée latéralement. Quand ce cas se présente, c'est une grande perte pour les entrepreneurs; car, comme nous l'avons dit, chacune de ces mines revient à plus de 15,000 francs. Ce danger est surtout à craindre lorsque les mines partielles qui composent un même système ne partent pas simultanément, et on le comprend du reste facile-

ment si l'on considère que ces mines sont calculées eu égard aux résistances qu'elles ont à vaincre dans l'hypothèse que la résistance de la partie du rocher comprise entre elles se trouvera vaincue par des efforts additionnés. Si l'une part avant les autres, cette dernière résistance ne peut plus être vaincue aussi facilement, car dans la partie du rocher ainsi enlevée par une décharge latérale, la puissance perd un point d'appui, un contre-fort, si je puis m'exprimer ainsi, qui devait aider à l'action générale.

On vient d'essayer à Alger un nouveau système de mines électriques sous-marines qui, assure-t-on, a parfaitement réussi. Nous empruntons au *Moniteur algérien* les détails qui suivent sur une expérience faite par M. Hardy, en présence du maréchal Randon, sur une roche dite *roche sans nom*, que l'on est en ce moment en train de faire disparaître.

« Ce genre de mines, en usage aux États-Unis, et employé pour la première fois en grand en territoire français, au port d'Alger, n'exige aucun travail préparatoire de forage. On pose simplement sur la roche à faire éclater une ou plusieurs grosses bouteilles à acide, dites *bonbonnes*, d'une capacité de 50 ou 60 litres, remplies de poudre de mine, et on y met le feu simultanément au moyen d'un courant électrique. La colonne d'eau fait office de bourrage, et l'explosion de la poudre brise la roche. L'effet extérieur est une gerbe d'eau de 5 à 6 mètres de hauteur et de 4 à 5 mètres de diamètre d'un beau spectacle.

« Chacune de ces mines brise de 5 à 6 mètres cubes de rocher. Comme il y a environ encore 2,000 mètres à faire sauter pour obtenir dans toute l'étendue de la roche sans nom une profondeur d'eau uniforme de 10 mètres, on voit qu'on n'est pas encore près d'en finir avec cette masse qui met obstacle à la libre circulation des vaisseaux de haut bord dans le port d'Alger. »

Emploi de la lumière électrique pour l'éclairage des fils dans

les lunettes. — Depuis longtemps on cherche à rendre lumineux les fils de repère dans les lunettes afin de pouvoir faire des déterminations exactes lors des observations de nuit. M. Secchi semble, d'après l'article suivant, inséré dans le *Journal astronomique* d'Altona, avoir réussi.

« ..... Ayant reçu de M. Ruhmkorff, dit M. Secchi, une excellente machine d'induction, avec interrupteur, à mercure, j'ai essayé la lumière électrique pour l'éclairage des fils de lunettes. J'ai trouvé qu'elle réussit très-bien, et ne laisse rien à désirer. L'appareil lui-même peut régler la force de la lumière; seulement il y a un peu de bruit fait par l'étincelle, ce qui peut être un inconvénient si l'on n'a pas un chronomètre assez fort... Trois éléments de Bunsen suffisent pour éclairer le champ directement; mais une pile de Smée serait préférable pour éviter les émanations du gaz. Il serait facile de rendre cette illumination aussi commode que l'éclairage ordinaire; mais, comme elle sera toujours coûteuse, elle ne pourra servir que dans des cas exceptionnels. Pour obtenir une plus grande puissance éclairante, j'ai introduit quatre carreaux magiques dans le circuit, et cela a réussi à merveille. »

Application de l'étincelle d'induction à la sûreté des galeries de mines. — Système de MM. Thénard et Jeandel. — Tout le monde connaît les funestes accidents qui accompagnent dans les mines la détonation du *grisou*. Tous les moyens imaginés jusqu'ici pour conjurer les effets désastreux de ce terrible élément n'ont rempli que très-imparfaitement leur but. Ainsi la lampe de Davy ne permet d'apprécier la présence de ce gaz que quand il est dans les proportions de 5 à 5 1/2 pour 100. Or, il est reconnu qu'à une proportion moindre et sous une influence calorifique un peu intense, le grisou détone parfaitement bien; comme dans les cas ordinaires de l'exploitation des mines, cette influence calorifique intense peut être fournie par la lampe du mineur, soit par suite de

l'inflammation des particules charbonnées qui se déposent sur le tube métallique de cette lampe, soit par la détérioration de cette toile, il était à désirer qu'on pût prévenir le danger soit par une analyse prompte de l'air des galeries de mines faite avant qu'on y travaille, soit par un essai préventif fait à distance. Le premier de ces moyens a été proposé et combiné par M. Paul Thénard, le second par M. Jeandel.

Ce dernier consiste à établir, entre les galeries de mine et l'extérieur, un circuit présentant au fond de ces galeries une solution de continuité à travers laquelle peut se produire, à un moment donné, une étincelle électrique. Un peu avant la descente des ouvriers dans la mine, on provoquerait une série de décharges à travers ce circuit, soit au moyen des batteries de Leyde, soit au moyen du courant induit de la machine de Ruhmkorff, et alors de deux choses l'une : ou le grisou n'aurait pas été en quantité suffisante dans ces galeries de mine pour être enflammé, et alors aucune explosion ne serait produite, ce serait le cas ordinaire ; ou le grisou, au contraire, aurait atteint la proportion suffisante pour donner lieu à une inflammation, et l'explosion qui serait alors indubitablement arrivée au moment de l'introduction des ouvriers dans la mine (sous l'influence de leur lampe) aurait pu précéder leur arrivée sans produire aucun accident. « Ce moyen, dit M. Jeandel, doit être employé comme contrôle de l'aérage, et alors que les moyens de ventilation ont produit tout leur effet, après l'exploration électrique des galeries en exploitation, des galeries de service et des galeries voisines. L'éclairage du travail devra se faire à l'aide de lumières multipliées brûlant à l'air libre et placées dans la partie supérieure de la galerie ; car dès lors l'hydrogène carboné qui viendrait à se dégager pendant le cours des travaux serait enlevé par l'aérage ou détruit par le feu des lumières, ainsi que l'a observé M. Jobard. »

Le système de M. Thénard est un peu plus compliqué; il est fondé sur le principe de l'eudiomètre et consiste, 1° dans une série de tubes en verre ordinaire fermés par l'une de leurs extrémités à la lampe, et à l'autre extrémité avec un bouchon de liége; ils sont gradués d'une manière particulière; leur longueur est d'environ 28 centimètres, leur diamètre de 14 millimètres, leur capacité de 37 à 37,5 centimètres cubes; ils coûtent 30 centimes la pièce, et servent à la fois de flacon pour recueillir les gaz sur les différents chantiers de la mine, de laboratoire pour l'analyse, et de mesureur; 2° en une cuve à eau, où l'on distingue trois pièces principales : d'abord, un mandrin cylindrique en cuivre, d'un diamètre un peu plus petit que celui des tubes, et de 13 à 14 centimètres de longueur; ensuite, une petite cloche de 3 centimètres cubes environ, portant deux robinets, l'un à sa partie supérieure, qui permet la sortie du gaz dont la cloche peut être remplie; l'autre à la partie latérale, servant à mettre à volonté la cloche en communication avec un gazomètre rempli de gaz provenant de la décomposition de l'eau; enfin, un excitateur formé de deux fils parallèles et métalliques, isolés l'un et l'autre par une couche de gutta-percha, recevant le courant électrique par leur partie inférieure, et donnant l'étincelle à leur extrémité supérieure ou sommet. Ces trois pièces sont placées verticalement et immergées dans la cuve. Une machine de Clarke, mise en mouvement par le petit cheval, qui fait marcher la pompe alimentaire des chaudières, ou, comme on se propose de le faire à Blanzy, par un moteur spécial, fait naître le courant électrique; ce courant a pour fonction habituelle de décomposer l'eau dont les gaz de composition constante arrivent au gazomètre dont il a été question, et pour fonction intermittente d'animer l'appareil d'induction de Ruhmkorff qui doit produire l'étincelle nécessaire à l'analyse eudiométrique.

« Quand on veut opérer, dit M. Thénard, on réunit dans une cartouchière cinquante à soixante tubes, qui, ainsi que la cartouchière, ont été préalablement remplis d'eau ; ensuite, la cartouchière aux reins, l'opérateur descend dans la mine, où il va vider trois tubes sur chaque place à examiner ; seulement, après avoir vidé ces trois tubes et les avoir rebouchés, il prend la précaution, pour éviter toute confusion, de les remettre à leur place dans la cartouchière, le bouchon tourné en bas et plongeant dans l'eau, afin de rendre la fermeture plus hermétique.

« Revenu au jour, il procède aux analyses, mais il n'opère que sur deux tubes de chaque série, réservant le troisième pour le contrôle possible de l'ingénieur. Voici comment il s'y prend : comme pour toute analyse eudiométrique, il commence par mesurer la quantité d'air qu'il doit analyser ; pour cela, il débouche sous l'eau le tube sur lequel il opère, puis il l'engage sur le mandrin, et il l'enfonce verticalement jusqu'au fond de la cuve ; nécessairement le mandrin chasse du tube le peu d'eau qui peut y rester, puis une certaine quantité d'air ; mais la somme d'air et d'eau déplacés étant nécessairement égale en volume au volume du mandrin et de tous les tubes égaux, la quantité d'air que le mandrin n'a pu déplacer est égale, quel que soit le tube. Aussi, une fois dégagé du mandrin, voit-on toujours l'air revenir à un gros trait qui est le zéro ; or c'est justement sur ce volume résidu, qui est de 27 centimètres, que porte l'analyse. La quantité d'air ainsi déterminée, il faut, pour pouvoir assurer l'explosion, y ajouter un volume constant de gaz provenant de la décomposition de l'eau ; pour cela, on ouvre le robinet du gazomètre, et la petite cloche de la cuve se remplit ; on est assuré qu'elle est pleine quand le gaz déborde par le bas de la cloche et vient crever à la surface ; on ferme alors le robinet du gazomètre. Portant ensuite le tube analyseur sur l'ajutage du robinet supérieur de la cloche, on ouvre ce

robinet, et tout le gaz dont la cloche a été rempli passe dans le tube analyseur. On agite ensuite ce tube pour mélanger les gaz; et, posant après le tube sur l'excitateur, on provoque l'étincelle, l'explosion a lieu aussitôt; enfin, pour terminer, on lit, sur le tube gradué, quel nouveau volume occupe l'air analysé.

« Évidemment, s'il est revenu au point de départ, il n'y a pas de grisou, et l'explosion n'est due qu'au gaz oxy-hydrogène ajouté; mais si, au contraire, le volume final est moindre que le volume initial, c'est qu'il y a du grisou, et il y en a en proportion de la réduction de volume. Or, chaque tube est gradué en demi-centièmes; il y aura donc autant de demi-centièmes de grisou qu'il y aura de degrés entre le point initial ou le zéro et le point final.

« Mais, dira-t-on, si l'expérience est facile en elle-même, la lecture qu'elle exige est difficile, surtout pour un ouvrier qui va vite; les degrés sont rapprochés, et la moindre dilatation, la moindre contraction peut causer les plus vives alarmes ou inspirer une sécurité trompeuse. Ces objections sont fondées, aussi me les suis-je faites; et, si j'ai décrit l'opération ainsi que je viens de le faire, c'était pour en faire sentir le mécanisme, et préparer les esprits à comprendre les modifications que je lui ai fait subir, afin de le rendre plus pratique.

« Une analyse scientifique doit être rigoureuse dans toutes ses parties; mais, dans une analyse industrielle, on peut souvent négliger les phases intermédiaires, pourvu qu'on détermine, avec précision, certains points limités. Or, dans un chantier où il se dégage du grisou, le chimiste en trouvera toujours, ne fût-ce que des traces; mais le point important pour l'ingénieur est moins de déterminer combien il y en a que de savoir s'il est arrivé à certaines grandes étapes, telles que le moment où il doit faire évacuer le chantier, celui où il doit activer la ventilation ou bien laisser con-

tinuer paisiblement le travail ; hors de là, l'analyse n'est plus pour lui qu'un simple objet de curiosité.

« Eh bien, c'est à fixer avec précision ces trois points que je me suis attaché. Je l'ai déjà dit, à 4, 5 pour 100 de grisou, il peut y avoir détonation ; 4, 5 est donc un point limité que l'on ne doit jamais dépasser ; et, comme il faut avoir le temps de battre en retraite, comme, dans ces derniers mois, on a parlé de dégagements immenses et instantanés de grisou, auxquels, du reste, en présence de l'imperfection des moyens de dosage, j'ai bien de la peine à croire, j'ai arbitrairement fixé à 3 pour 100 le moment où l'on doit évacuer la mine ; tandis que, tant qu'il n'y a pas 1 1/2, je n'y fais pas attention ; mais, entre 1 1/2 et 3, je ventile avec activité et je surveille avec le plus grand soin.

« Maintenant, comment déterminer ces trois points? L'expérience a démontré que, dans les circonstances où je me place, un mélange de 83,5 d'air pur et 16,3 de gaz de la décomposition de l'eau par l'électricité, revient, après l'étincelle, à 83,5, c'est-à-dire au point de départ ; dans ce rapport la combustion est donc complète. Mais si, au lieu du rapport 83,5 à 16,5, on prend un rapport moindre, tel que 88 à 12, il y a encore combustion, mais elle est incomplète, si bien qu'au lieu de revenir à 88 on revient à 91, c'est-à-dire qu'il y a augmentation de trois volumes.

« Eh bien, l'appareil est justement réglé dans ces conditions; le rapport entre l'air à analyser et le gaz oxy-hydrogène ajouté est de 88 à 12, si bien que, quand l'air est pur, au lieu de revenir au point de départ, on a un gain ; et ce gain, qui diminue il est vrai avec l'augmentation de la proportion de grisou, persiste cependant tant qu'il n'y en a pas plus de 1 1/2 pour 100.

« Mais, sitôt que ce terme est atteint, comme la combustion devient complète, le gain se change en perte, et cette perte est subitement de trois divisions sur le volume initial.

« Or, cette réduction de volume, quand il y a 1 1/2 de grisou, comparée à l'augmentation qui persiste tant qu'on n'a pas atteint cette limite, forme un contraste frappant qu'il est impossible de ne pas saisir.

« Mais, au-dessus de 1 1/2, la combustion devenant complète, les réductions étaient proportionnelles, et les mêmes objections de lecture, de dilatation, de contraction, etc., se représentaient et se représentaient au moment le plus critique, c'est-à-dire au moment où la mine doit être évacuée

« Heureusement, pour éviter ce nouvel inconvénient, j'ai usé d'un autre petit artifice, encore plus simple que le premier, et qui réussit parfaitement.

« Quand un gaz détone, il y a d'abord expansion, et cette expansion est proportionnelle à la quantité de matières qui entrent en combustion.

« Eh bien ! l'appareil est tellement calculé, que, tant qu'il y a moins de 3 pour 100 de grisou, l'expansion est insuffisante pour projeter du gaz en dehors de l'analyseur ; mais, à 3 pour 100, la dilatation est telle qu'il y a projection en dehors, et, par suite, réduction considérable du volume final, phénomène qui ne peut échapper à l'œil et à l'ouïe les moins exercés.

« Pour me résumer, les divers mélanges d'air et de grisou ne prennent pas toujours feu à la même température, et tel mélange qui, dans les circonstances habituelles, résiste à la flamme fumeuse du mineur, éclate à une température plus élevée. Or, une multitude de circonstances peuvent produire cette élévation subite de la température.

« De plus, la lampe, qui ne donne aucun indice avant 5 ou 5 1/2 pour 100 de grisou, tandis qu'un mélange à 4, 5 détone au rouge-blanc, doit être abandonnée comme analyseur, et remplacée par un instrument plus sensible et plus exact.

« L'analyse eudiométrique, modifiée pour les besoins de la question, semble remplir ce but; car ses résultats sont rigoureux, sans chances d'erreur; et l'exécution en est alors si simple et si rapide, qu'un ouvrier peut facilement faire quatre-vingts analyses à l'heure.

« Telle est la première partie de mes recherches sur le grisou. Je ne donne pas cet appareil comme un protecteur, mais seulement comme un investigateur; c'est un moyen de tâter le pouls au malade, qui est la mine; dans la suite de mes recherches, je tâcherai de trouver le remède. »

Électro-moteur de M. Allan. — Bien qu'ayant été pris plus d'une fois à donner le problème des électro-moteurs comme résolu, tous les journaux du printemps 1857 parlaient des effets merveilleux réalisés par l'électro-moteur de M. Allan, qui, suivant eux, devait immédiatement détrôner les machines à vapeur. Il est vrai qu'ils s'étaient laissé un peu entraîner par l'importance que semblait avoir donnée à cet appareil la visite que lui avait faite Sa Majesté l'empereur des Français; mais, hélas! combien de fois déjà n'a-t-on pas égaré l'opinion de grands personnages par des annonces pompeuses de découvertes de la plus mince valeur!... Cette fois, pourtant, la méprise était trop forte; car, expérimenté au Conservatoire des arts et métiers, ce moteur a fourni un travail mécanique infiniment inférieur à celui de M. Roux, dont nous avons parlé dans le troisième volume de notre *Exposé*, pages 149 et 168. Ainsi, ce dernier n'usait que 2 kilogrammes de zinc par heure et par force de cheval, tandis que le moteur de M. Allan en usait 26 kilogrammes. Nous ferons toutefois remarquer qu'en parlant d'une force égale à celle d'un cheval, nous n'entendons pas dire que les moteurs précédents aient atteint ce degré de force. Aucun moteur électrique connu, nous l'avons déjà dit dans notre *Exposé*, n'a jusqu'à présent réuni les conditions nécessaires pour le fournir. Mais on a dû rapporter le travail de ces dif-

férents moteurs à une unité fixe, et c'est cette unité fixe que représente le *cheval vapeur*.

Nous répéterons donc ici, comme nous l'avons déjà fait, que *d'ici à longtemps, pour ne pas dire pour toujours, il faudra se méfier des annonces pompeuses des journaux, particulièrement des journaux non scientifiques, sur cette question*. La plupart du temps, ces récits ne sont que des réclames plus ou moins payées, et tant que ces articles ne seront pas signés par des personnes dont le nom fasse autorité dans la science, on devra les regarder comme inexacts. On conçoit, en effet, que si les inventions dont il est ainsi question avaient quelque valeur, ce seraient les personnes dont nous parlons qui en seraient les premières instruites, et nous ne doutons pas que, par amour pour la science, elles ne les fissent connaître immédiatement.

Malgré son infériorité, nous allons consacrer au moteur en question quelques lignes, ne serait-ce que pour éclairer ceux qui ont eu connaissance de cet appareil sans savoir en quoi il consiste. Voici la description qu'en fait le *Cosmos :*

« La machine de M. Allan est construite sur un principe tout à fait nouveau. Une chaîne, sorte de câble sans fin, est armée, suivant sa longueur, de séries d'armatures ou morceaux de fer doux; les électro-aimants sont distribués en séries sur un cylindre; ils attirent les armatures de la chaîne, et font avancer par pas successifs, et toujours dans le même sens, la chaîne sans fin qui communique le mouvement au moteur quelconque qu'il s'agit de faire fonctionner. On amène d'abord la première série d'armatures de la chaîne à une distance assez petite de la première série d'électro-aimants; pour que l'attraction puisse s'exercer, on fait passer le courant; les électro-aimants deviennent actifs; la chaîne avance; sa progression amène une nouvelle série d'armatures en présence d'une nouvelle série d'électro-aimants qui deviennent actifs au moment où la première série est devenue

inerte par la cessation du courant qui les animait; le mouvement continue, par conséquent, dans le même sens, et il continuera incessamment tant que la pile sera armée. Au lieu d'une chaîne sans fin, M. Allan emploie quelquefois une simple barre à laquelle les électro-aimants impriment un mouvement de va-et-vient que l'on transforme, par les moyens connus, en un mouvement continu et de même sens. »

Électro-moteur de M. Roussilhe. — Comme tous ses prédécesseurs, M. Roussilhe croit être parvenu à la solution complète du problème de la substitution de l'électro-magnétisme à la vapeur comme force motrice. « Un jour enfin, dit-il, après bien des tâtonnements de ma pensée, après une étude approfondie de l'électro-magnétisme, je pus dire, comme le philosophe grec : *J'ai trouvé*. Je détachai pièce à pièce de mon cerveau la machine qui s'y était formée dans un moment de profonde réflexion; je la vis bientôt tout entière déposée sur le papier, où je pouvais me faire une idée plus nette de son mécanisme et de son jeu, et, *certain* d'avoir réussi, je vais, dans la petite notice qui va suivre, donner la description de ma machine, montrer tous ses avantages et la possibilité de son application à la locomotion. » Ce préambule, empreint de cette verve gasconne qu'on ne retrouve que chez les Méridionaux, dépeint admirablement les illusions que tous les inventeurs (moi tout comme les autres) se sont faites, et qui ont amené, sinon la ruine de plusieurs d'entre eux, du moins la perte de sommes considérables; ce qu'il y a de pis, c'est que l'expérience des autres ne servant jamais, cette question entraînera bien d'autres pertes encore.

Pour vaincre la grande difficulté du peu de course fournie aux pièces mobiles qui subissent les effets de l'attraction électro-magnétique, M. Roussilhe adapte à l'une de ces pièces, qui sera, je suppose, une traverse horizontale, une série de tiges de longueur progressivement décroissante, et mobiles à l'intérieur des trous à travers lesquels elles passent. Ces

tiges portent d'un côté une armature de fer doux, de l'autre une tête qui les soutient lorsque la traverse horizontale est soulevée; de sorte que, dans cette position, toutes les armatures sont disposées entre elles comme les marches d'un escalier. Au-dessous de cette série d'armatures se trouve une série d'électro-aimants interposés chacun dans une dérivation particulière du courant issue de la source électrique elle-même, de manière, dit M. Roussilhe, que la pile puisse donner à chacun d'eux la même force que s'il eût agi isolément. Avec cette disposition, l'armature la plus basse se trouvant dans la sphère d'attraction de l'électro-aimant qui lui correspond, la tige qui la supporte provoque un abaissement de la traverse égal à la distance qui sépare l'armature de l'électro-aimant (3 millimètres, je suppose). Mais de cet abaissement résulte le rapprochement de la seconde armature qui, en agissant dès lors comme la première, abaisse de nouveau la traverse, refoule la tige de la première armature à travers le trou qui lui sert de gaîne, et reporte la troisième armature dans la sphère d'attraction du troisième électro-aimant. Ces mêmes effets se reproduisant pour toute la série des électro-aimants, il en résulte que le mouvement de la traverse, qui n'était, dans l'origine, que de 3 millimètres, se trouve porté, pour 100 électro-aimants, à 30 centimètres, distance qui est plus que suffisante pour obtenir un mouvement de va-et-vient à peu près égal à celui du piston dans les petites machines à vapeur ordinaires.

Pour obtenir une plus grande force sous un moindre volume, M. Roussilhe dispose les électro-aimants précédents sur plusieurs lignes circulaires concentriques, ce qui entraîne pour chaque série d'électro-aimants occupant chaque circonférence une traverse circulaire munie de ses tiges à armatures. Mais comme l'attraction devant se répartir également autour de l'arc central qui commande le mouvement de la machine aurait exigé que les tiges à armatures fussent de même lon-

gueur pour chaque traverse circulaire, et ne pussent décroître que suivant le rayon commun de ces traverses, l'inventeur a préféré faire de ces traverses elles-mêmes des armatures annulaires soutenues chacune par quatre tiges, lesquelles pouvaient dès lors être adaptées à une croix rigide soutenue par la bielle du moteur. Ces tiges décroissant de la circonférence au centre de cet ensemble d'anneaux concentriques, il arrive que quand le système est soulevé, ces anneaux forment, les uns par rapport aux autres, une espèce de surface conique qui surmonte le groupe des électro-aimants, et qui peut être repliée comme une spirale conique. Au moment de l'attraction initiale, c'est donc le premier anneau qui se trouve attiré, puis le second, le troisième, etc., jusqu'à ce qu'ils se trouvent tous appliqués dans le même plan sur les électro-aimants. Or de cette succession d'attractions résulte une course considérable de la croix à laquelle est fixée la bielle, et, par suite, un mouvement communiqué au balancier de la machine que supporte cette bielle. Ce mouvement étant produit de la même manière de l'autre côté de ce même balancier, par l'adjonction d'un second système électro-magnétique analogue à celui que nous venons de décrire, et qui fonctionne alternativement avec celui-ci, il en résulte un mouvement de va-et-vient qui peut être transformé en mouvement circulaire, comme celui des machines à vapeur établies dans le même système.

Si, comme le croit M. Roussilhe, et comme le donnent à supposer certains traités de physique, la force électrique pouvait se subdiviser indéfiniment sans perte par des dérivations issues de la source, le système précédent pourrait produire quelques effets avantageux, bien qu'on aurait encore à vaincre un magnétisme rémanent très-énergique; mais il est loin d'en être ainsi, et comme nous l'avons démontré dans notre Traité du magnétisme, la perte de force avec les dérivations *même issues de la source* est énorme, tellement

énorme que l'ensemble de tous ces électro-aimants pourrait ne pas donner une force supérieure à quelques-uns d'entre eux réunis en tension. Eu égard à cette circonstance, il faudrait donc établir sur le moteur un commutateur qui renverrait alternativement le courant d'une série d'électro-aimants à une autre. Alors le système de M. Roussilhe se trouverait ramené, quoique sous une forme différente qui serait même assurément moins pratique, à celui de M. Froment que nous avons décrit page 159 (troisième volume de notre *Exposé*). En effet, dans ce dernier moteur les armatures de la circonférence mobile se trouvent successivement approchées des électro-aimants qui leur correspondent par le fait seul des attractions successivement produites. Or si M. Froment n'a pas réussi à faire de ce moteur une machine pratique, à plus forte raison M. Roussilhe ne parviendra pas à résoudre avec sa machine le problème de la substitution de la force électro-magnétique à la vapeur.

Électro-moteur de MM. Pellis et Henry. — On a beaucoup parlé de ce moteur dans lequel l'amplification du jeu des pièces mises en action sous l'influence électro-magnétique, était obtenue au moyen de cornets en fer doux adaptés aux armatures des électro-aimants, et de pôles magnétiques coniques; mais outre que ce système d'amplification n'est pas nouveau, puisqu'il avait été combiné dès l'année 1849 par M. Hjorth, ainsi que nous l'avons vu page 130, il ne présente pas encore d'avantages bien marqués à cause de la décomposition de la force attractive qui a lieu dans ce cas. Cet appareil, pas plus que les autres, ne résout donc la question des électro-moteurs qui n'est, du reste, pas plus avancée aujourd'hui qu'il y a dix ans, quoique de temps à autre nous trouvions dans les journaux américains des nouvelles telles que celles-ci :

« On vient de faire les essais d'un navire de 120 tonneaux à propulseur à hélice qui est mis en mouvement par un mo-

teur électro-magnétique; il file 5 ou 6 nœuds à l'heure. »

Réactions d'induction produites par les électro-moteurs. — Nous avons plusieurs fois parlé des réactions fâcheuses produites sur la marche des électro-moteurs par les courants induits qui naissent au sein des bobines magnétisantes au moment de la fermeture du courant; mais jusqu'à présent aucunes expériences délicates n'avaient été faites pour apprécier le degré d'influence que pouvait avoir cette cause perturbatrice. M. Matteucci vient de faire à ce sujet des recherches intéressantes que nous croyons devoir rapporter ici.

Les appareils dont M. Matteucci s'est servi pour ces recherches se composaient: 1° d'une pile formée tantôt de cinq éléments de Grove, tantôt de dix éléments de Daniell; 2° de deux bobines à deux fils bien isolés entre eux formant un gros électro-aimant dont le cylindre de fer pesait 100 kilog., et enfin d'un commutateur à six dents de platine pareil à celui des électro-moteurs ordinaires de M. Froment. Ce commutateur était mis en mouvement par un fort mécanisme d'horlogerie auquel on pouvait imprimer des vitesses différentes avec des poids variables, et ces vitesses pouvaient être appréciées à l'aide d'un chronomètre et d'un compteur semblable à celui de *la Sirène*. M. Matteucci introduisait dans le circuit une boussole de sinus avec un circuit dérivé et un voltamètre.

Avec cette disposition on conçoit qu'en faisant tourner le commutateur pendant un certain temps avec une vitesse uniforme, on obtenait dans le circuit un certain nombre d'interruptions et de fermetures de courant, d'autant plus rapprochées entre elles que les poids animant le moteur étaient plus considérables. En tenant le circuit fermé avant et après chaque expérience, on pouvait s'assurer de la constance du courant, dont les petites variations pouvaient être corrigées à l'aide du rhéostat; et il ne s'agissait plus, pour connaître

l'influence des extra-courants induits, que de répéter l'expérience, tantôt en ayant les bobines du gros électro-aimant dans le circuit, tantôt en substituant à ces bobines un fil de laiton de la même résistance. Voici les résultats auxquels est parvenu M. Matteucci :

1° Dans les expériences faites sans les bobines de l'électro-aimant dans le circuit, la force électro-magnétique du courant est approximativement la même quel que soit le nombre des interruptions;

2° Lorsque les bobines de l'électro-aimant entrent dans le circuit, la force électro-magnétique du même courant devient beaucoup moindre, et cela proportionnellement à la vitesse de rotation du commutateur ou au nombre des interruptions dans un temps donné. En comparant les résultats obtenus avec les mêmes vitesses du commutateur, on trouve même que la force électro-magnétique souffre une diminution plus grande que son action électrolytique, et que ces différences sont d'autant plus marquées, que la vitesse du commutateur est plus grande;

3° En tenant fermé le circuit des bobines induites, la force électro-magnétique et les produits électrolytiques augmentent; et à mesure qu'on diminue la vitesse de rotation du commutateur, le courant tend à se rapprocher du courant obtenu dans le circuit sans bobines;

4° Lorsqu'on emploie dans un électro-moteur des électro-aimants formés de deux bobines superposées et bien isolées, et qu'on réunit les deux extrémités du fil de la bobine, à travers laquelle ne passe pas le courant inducteur, l'axe du moteur a sa vitesse de rotation grandement diminuée et peut même se trouver grandement arrêté. En même temps les étincelles disparaissent à l'interrupteur. La machine reprend ensuite son mouvement de rotation aussitôt que le circuit, d'abord fermé, est disjoint [1].

1. J'avais déjà observé un phénomène analogue dans la marche de

Quelques applications industrielles et économiques de la télégraphie électrique. — Pendant la saison de la pêche, les bancs de harengs entrent dans les fiords de Norvége à des intervalles tout à fait inattendus, et dans des endroits où il ne se trouve souvent pas plus d'un ou de deux bateaux pêcheurs. Avant que les bateaux des baies et des fiords environnants aient pu être appelés à prendre part au butin, les harengs ont déjà presque tous déposé leur frai et ont regagné la pleine mer. Pour prévenir ces désappointements souvent répétés et les pertes qui en résultent pour les pêcheurs, le gouvernement norvégien va établir, sur une étendue de 200 kilomètres, le long de la côte fréquentée par les bancs de harengs, un câble sous-marin avec des stations à terre, à des intervalles suffisamment rapprochés et communiquant avec les villages habités par les pêcheurs. Dès que le banc de harengs sera aperçu au large (et on peut toujours le reconnaître à une certaine distance par le flot qu'il soulève), une dépêche télégraphique, expédiée le long de la côte, annoncera à chaque village le fiord ou la baie dans laquelle le hareng aura pénétré.

Nous avions déjà indiqué, dans le troisième volume de notre *Exposé*, l'importance que pouvait avoir le télégraphe électrique au moment des inondations; on a pu en acquérir la preuve irrécusable lors des dernières inondations.

Le gouvernement ayant été prévenu, en octobre 1857, que l'on prévoyait à Blois, à Tours, à Angers, des crues de la Loire qui pouvaient amener de grands désastres, attendu que les dépêches du haut Allier et de la haute Loire annonçaient une élévation tout à fait anormale du niveau de ces deux rivières, le ministre de la guerre, aussitôt, a envoyé à Tours et à Blois deux compagnies de génie et deux bataillons d'infanterie pour diriger les travaux en cas de danger, et

l'interrupteur de la machine de Ruhmkorff. (Voir ma Notice, page 147.)

pour maintenir l'ordre. On expédiait en même temps plusieurs milliers d'outils de terrassiers pour augmenter les ressources des localités.

Les troupes et les outils sont arrivés à destination plusieurs jours avant que la crue d'eau se produisît, car la Loire n'a commencé à monter à Tours que le 23 octobre, au moment précis indiqué quatre jours auparavant par les dépêches télégraphiques. L'arrivée de ces renforts, en bras et en outils, a produit le meilleur effet : cette preuve, si éclatante de la sollicitude si empressée du gouvernement, a puissamment contribué à rassurer les populations et à redoubler le zèle des travailleurs. Les crues, au reste, n'ont pas atteint, à Blois et à Tours, la hauteur dont on se croyait menacé, parce que très-heureusement les bassins secondaires ou les affluents de la Loire, dans la partie inférieure de leur cours, n'avaient pas reçu des pluies comparables à celles qui étaient tombées dans la haute Loire et le haut Allier.

Une autre application importante de la télégraphie électrique, que nous n'avions pas encore signalée et qui a cependant déjà été mise en usage, est son emploi dans les travaux sous-marins pour établir une relation télégraphique entre les ouvriers travaillant sous la cloche à plongeur ou dans les bateaux sous-marins et l'extérieur. Si jamais l'utilité d'une correspondance télégraphique a été nécessitée, c'est bien dans ce cas; car ces ouvriers, ainsi plongés au fond de la mer, sont dans l'impossibilité complète de demander ce qui leur est nécessaire. Sans doute, au moyen de tuyaux acoustiques, le problème pourrait être résolu, mais dans de grandes profondeurs ces tuyaux se trouveraient bien vite affaissés; et d'ailleurs leur introduction sous la cloche nécessiterait une disposition particulière qui pourrait bien permettre l'infiltration de l'eau. Avec un fil recouvert de gutta-percha et un simple télégraphe auditif ou sonnerie, le problème pourrait être résolu de la manière la plus simple; ce système pour-

rait même être étendu aux simples plongeurs munis de l'appareil respiratoire qu'on leur applique souvent lorsqu'on les emploie aux travaux de recherches sous-marines. Enfin, les puisatiers eux-mêmes pourraient y avoir recours avec avantage.

Depuis la publication du dernier volume de notre *Exposé*, une partie des souhaits que nous avions formés pour l'enregistration simultanée (au moyen du télégraphe) des observations météorologiques faites en différents points de l'Europe, s'est réalisée. Aujourd'hui le nombre des stations qui envoient chaque jour à l'observatoire de Paris leurs observations est de trente; ce sont : Dunkerque, Mézières, Strasbourg, Tonnerre, Paris, Le Havre, Brest, Napoléon-Vendée, Limoges, Montauban, Bayonne, Avignon, Lyon, Besançon, Madrid, Turin, Bruxelles, Vienne, Pétersbourg, Rome, Florence, Livourne, Alger, Moscou, Nicolaïew, Lisbonne, Varsovie, San-Fernando, Constantinople, Genève. On peut donc déjà suivre la marche des phénomènes météorologiques, jour par jour, en Europe; plus tard, nous pourrons peut-être étendre cette étude aux quatre autres parties du monde.

APPENDICES

APPENDICES AU CHAPITRE Ier

SUR LES PILES

Pile de MM. Fonvielle et Humbert. — MM. Fonvielle et Humbert viennent de présenter à l'Académie des sciences une nouvelle pile sur laquelle le *Cosmos* s'exprime en ces termes : « Cette pile est à un seul liquide : de l'eau acidulée par un dixième d'acide chlorhydrique. Elle se compose de lames de zinc et de plaques de charbon réunies par des conducteurs métalliques. Quoique fonctionnant avec un seul liquide, elle est constante ; la dépolarisation est produite par un courant de chlore. Le gaz, par sa combinaison avec l'hydrogène naissant de la pile, maintient le liquide excitateur au même degré de concentration. On atteint au bout de quelques minutes, pour un dégagement de chlore déterminé, dégagement qui se produit bulle à bulle, un certain effet qui reste le même pendant tout le temps que dure le passage du gaz. Les effets électrolytiques, lumineux et calorifiques sont remarquables par leur intensité. En résumé, la pile zinc et charbon, armée comme elle est par MM. Fonvielle et Humbert, réunirait les avantages suivants : 1° elle est constante ; 2° elle fonctionne avec un seul liquide ; 3° les substances qu'elle consomme se trouvent toutes à bas prix dans le com-

merce ; 4° la majeure partie des résidus possède une certaine valeur vénale, surtout si on les traite comme l'a indiqué M. Kuhlmann. La suppression d'un des liquides de la pile Bunsen, et la substitution dans cette même pile de l'acide chlorhydrique à l'acide nitrique, a été souvent tentée, mais toujours on perdait considérablement en intensité, soit même en constance. Nous serons heureux de nous assurer par nous-mêmes que MM. Fonvielle et Humbert ont mieux résolu le problème. S'il en est ainsi, ils auront rendu un grand service aux diverses industries électriques. »

Pile de M. Callaud. — Suivant les *Annales télégraphiques*, l'expérience aurait démontré que la pile de M. Callaud, que nous avons décrite page 12, n'aurait une intensité supérieure à la pile de Daniell que les premiers jours de son emploi ; que bientôt cette intensité tomberait au-dessous de celle des piles de Daniell, et que cette pile présenterait en outre l'immense inconvénient de dépenser beaucoup de sulfate de cuivre, ce qui, du reste, doit forcément arriver en raison de son peu de résistance intérieure. Ces irrégularités d'intensité proviennent sans doute du mélange du sulfate de zinc, formé à la partie supérieure de la pile, avec la dissolution de sulfate de cuivre, dans laquelle il tombe avec tous les dépôts qui se forment autour du zinc.

APPENDICES AU CHAPITRE II

SUR LA TECHNOLOGIE ÉLECTRIQUE

Vitesse de la saturation magnétique des électro-aimants. — Nous avons dit, page 125, que, d'après les expériences relatées dans notre étude du magnétisme, les vitesses d'aimantation maximum des électro-aimants étaient *proportionnelles aux racines carrées des forces attractives et en raison inverse des racines carrées des surfaces magnétisées.* Cette déduction

n'est vraie qu'autant que la force d'inertie mécanique se trouve combinée à la force d'inertie magnétique ; mais comme ces deux éléments réagissent toujours ensemble dans les applications électriques, nous avons cru devoir donner sous une même formule la loi qui se rapporte à la réaction définitive.

Si on voulait séparer les deux réactions, il suffirait de considérer que l'inertie mécanique étant proportionnelle aux résistances, les temps 0″,068 — 0″,098 — 0″,049, qui correspondent aux forces d'inertie combinées, pour des forces attractives de 450, 225, 950^{g} (voir *Étude du Magnétisme*, page 146), sont, si l'on fait abstraction de la force d'inertie mécanique, trop faibles précisément du rapport de ces forces attractives entre elles. En effet, si la force 450^{g} représente la résistance opposée dans le premier cas à la force attractive, dans le second 225^{g} étant moitié moindre, la force d'inertie mécanique sera moitié moins grande. Par conséquent, si l'on conserve 0″,068 comme unité de comparaison pour les temps d'aimantation maximum, 0″,098 devra être doublé, pour placer les deux expériences dans les mêmes conditions par rapport à l'inertie mécanique. Par la même raison 0″,049, correspondant à la force attractive de 950^{g}, devra être réduit de près de moitié pour que l'inertie mécanique se trouve placée dans les mêmes conditions que dans les deux autres expériences. En faisant ces corrections, on trouve pour les durées relatives de l'aimantation maximum les chiffres suivants :

$$0'',068 — 0'',196 — 0'',024.$$

En prenant le rapport de ces nombres par rapport à 68, on trouve 2,8 pour l'un et 2,9 pour l'autre ; d'où l'on peut conclure que les temps d'aimantation maximum dans leur valeur réelle croissent en raison inverse des forces attractives, mais dans un rapport plus rapide, ou, si l'on veut, que les vitesses d'aimantation maximum sont proportionnelles aux forces attractives, mais dans un rapport plus grand.

Réélectromètre de M. Marianini. — La description que nous avons faite de cet instrument, page 160, est tellement incomplète, que nous croyons utile d'entrer ici dans de nouveaux détails à son égard.

Cet instrument, destiné à la mesure des courants induits, se compose essentiellement d'un tube de verre horizontal entouré d'une hélice magnétisante très-résistante, et à l'intérieur duquel se trouve un fil de fer très-doux d'un demi-millimètre de diamètre (ou au besoin un faisceau de fils de fer du même diamètre) : au-dessus de ce tube se trouve placée une aiguille aimantée suspendue par un fil de cocon à la partie supérieure de la cage en verre de l'instrument; et cette cage elle-même peut se mouvoir sur un axe central, à la manière de la boussole des Sinus. Enfin, un cadran divisé est interposé entre l'hélice et l'aiguille aimantée. Pour faire usage de cet appareil, on place d'abord l'hélice perpendiculairement à l'aiguille en tournant convenablement la cage de l'appareil. Puis on fait passer le courant, dont il s'agit de déterminer le sens et l'énergie, à travers l'hélice. Sous l'influence de ce courant, le fil de fer placé dans l'hélice se magnétise instantanément en raison de sa ténuité et conserve pendant quelques instants le magnétisme qu'il a acquis; l'aiguille aimantée dévie alors en tendant à se placer parallèlement au fil de fer, et par le sens de sa rotation on reconnaît facilement le sens et l'énergie du courant que l'on mesure.

M. Verdet a prétendu que les indications de cet appareil n'étaient pas rigoureuses, mais M. Masson a démontré victorieusement que ce savant s'était mépris sur la valeur de cet appareil.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

INTRODUCTION 1

I

GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ.

Perfectionnements apportés aux piles de Bunsen et de Daniell, etc.

Pile de M. Dering 5
— de MM. Alix et Henry 6
— de M. Bœttger 7
Nouveaux perfectionnements apportés aux piles de MM. Jedlick et Csapô 7
Pile de M. Stoney 8
— de MM. Bergeat et Ozann 9
— de M. Callaud 12
— de M. Bourseul 15
— de MM. Fonvielle et Grenet 17
— de M. Selmi 20
— de MM. Selagdenhauffen et Freyss 22
— de M. Palagi 23
Nouvelle pile portative de M. Pulvermacher 23
Pile de M. J. Erckmann 26
— de M. Weare 26
— de M. Caussinus 28

Piles économiques.

Pile de M. Douhet 29
— de M. Magrini 29
— de M. Selmi 29
— de M. Doat 30
Piles à tournure de fonte de fer 32
Liquide pour l'amalgamation des zincs 34

Nouveaux générateurs d'électricité.

Pile terrestre de M. Palagi..... 34
Générateur Lamy..... 37
Perfectionnements nouveaux apportés aux machines magnéto-électriques de l'usine à gaz des Invalides..... 39
Expériences dynamiques faites avec les machines précédentes..... 43
Appareil de l'abbé De Laborde..... 47
— de M. Hearder..... 49
— de M. Jean..... 49
Nouvelle machine électrique, en papier, de M. Thore..... 55
Générateur Tardieu..... 56

II

TECHNOLOGIE ÉLECTRIQUE

Des circuits et des courants.

Câble transatlantique..... 57
Câble méditerranéen..... 79
Lignes sous-marines établies et à établir..... 85
Système de câbles sous-marins de M. Beaudoin..... 87
— — — de M. Allan..... 93
— — — de MM. Laudi et Falconieri..... 94
— — — de M. de Mat..... 96
— — — de M. Balestrini..... 97
— — — de MM. Harisson et Glass..... 98
Système pour rétablir l'isolement d'un fil sous-marin dont l'enveloppe de gutta-percha a été détériorée..... 99
Fils souterrains. — Système de M. Royer..... 103
Fils de raccordement de M. de Lafollye..... 106
Fils électriques de M. Prudhomme..... 108
Communications électriques sans fils conducteurs..... 109

Électro-aimants.

Expériences nouvelles sur les électro-aimants..... 111
Résumé des conditions de force des électro-aimants..... 120

Dispositions diverses de systèmes électro-magnétiques.

Systèmes imaginés pour augmenter l'écartement des armatures sans nuire à la force électro-magnétique..... 126
Système électro-magnétique de M. Parks, renfermant lui-même son relais..... 132

Système électro-magnétique par répulsion de MM. Digney..... 136
Système électro-magnétique de M. Varley..... 138
Système de trempe magnétique des aimants permanents de M. Varley..... 140
Électro-aimants en fer purifié..... 141

Intermédiaires électro-mécaniques.

Rhéotomes..... 143
Échappements avec cliquets à double impulsion..... 149
Encliquetage Dobo, modifié par M. P. Garnier..... 151
Encliquetage à croix de Malte..... 153
Embrayeur à frottement magnétique et à mouvement de va-et-vient, de M. Achard..... 154
Embrayeur à frottement magnétique et à mouvement circulaire, de M. Achard..... 156

Appareils d'expérimentation.

Perfectionnements apportés à l'électromètre et à l'électroscope, par M. Volpicelli..... 158
Électroscope de M. Gaugain..... 159
Réélectromètre de M. Marianini..... 584 et 160
Galvanomètre de M. Fabre..... 160
Balance rhéométrique de M. Regnard..... 162
Rhéostat de M. Regnard..... 163
Rhéostat de M. l'abbé Caselli..... 164

III

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Télégraphes écrivants.

Considérations sur les télégraphes écrivants..... 166
Télégraphe de M. Thomas John..... 168
— de MM. Beaudoin et Digney..... 169
— à tire-ligne de M. Mouilleron..... 172
— de MM. de Pradines et Tondeur..... 174
— contrôleur de M. Tremeschini..... 174
— contrôleur de MM. Bain et Glover..... 178
— de M. Theyler..... 179
— de M. Hipp..... 180
— magnéto-électrique de M. Siemens..... 181

Système télégraphique de M. de Lafollye..... 185
— — de M. Varley..... 191
Télégraphe de M. Garapon..... 193
— de M. Achard..... 201
— à pointage, de M. Wheatstone..... 203
Manipulateurs des télégraphes écrivants..... 203
— système Ailhaud..... 204
— — Joly..... 205
— — Regnard..... 207
— — Mouilleron et Guérin..... 209
— — Paul Garnier..... 209
— — Baggs..... 214
— — Breguet..... 216
— — Rizet..... 216
— — pour la vérification de la transmission des dépêches..... 217

Télégraphes à aiguilles et à cadran.

Perfectionnements apportés aux télégraphes à aiguilles de M. Glossener..... 218
Télégraphe magnéto-électrique de MM. Siemens et Halske..... 223
Nouveau télégraphe de M. Wheatstone..... 224
Nouveau télégraphe magnéto-électrique de M. Lippens..... 225
Perfectionnements apportés aux télégraphes à cadran par MM. Gossin et Mouilleron..... 226
Perfectionnements apportés aux télégraphes à cadran par MM. Digney..... 227
Télégraphe naval de M. Jacobi..... 228
— de M. Didier..... 230

Télégraphes autographiques.

Télégraphe de M. l'abbé Caselli..... 231
— de M. Bonelli..... 240
— de M. Lacoine..... 243
— de M. G. Bienaymé..... 247
— de M. de Lucy..... 253

Télégraphes imprimeurs.

Télégraphes de MM. Mouilleron et Gossin..... 257
— de M. Grimeaux..... 260
— de M. Queval..... 261

Systèmes télégraphiques particuliers.

Télégraphes à courants alternés de M. Regnard..... 264
Moyens de rendre secrètes les dépêches télégraphiques..... 277
Télégraphe électro-globotype de M. Callum..... 281
Détails sur le télégraphe transatlantique..... 282

Transmissions simultanées.

Transmission simultanée de plusieurs dépêches à différentes stations. — Système de M. Duncker..... 286
Transmission simultanée de plusieurs dépêches à différentes stations. — Système de M. Starke..... 292
Transmission de deux dépêches en sens contraire. — Système de M. Siemens..... 293

Appels des stations intermédiaires.

Système de M. Martorey..... 299
— de M. Amiot..... 300
— de M. Guez..... 301
— de M. Ailhaud..... 303

Parafoudres.

Système de MM. Mouilleron et Gossin..... 304
— de l'administration française..... 308

IV

APPAREILS POUR LA SÉCURITÉ DES CHEMINS DE FER.

Système de M. Crestin..... 310
Perfectionnements apportés aux indicateurs des trains, par M. Regnault..... 315
Système de M. de Lafollye..... 320
— de M. Marqfoy..... 327
— de M. Lenoir..... 337
— de M. Bergeys..... 339
Nouvel interrupteur kilométrique de M. Th. Du Moncel..... 335
Avertisseur électrique de la manœuvre des disques-signaux de M. J. Dufau..... 348
Télégraphe avertisseur de M. Walker..... 354
Freins électro-magnétiques de M. Achard..... 355

V

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.

Considérations 362
Pendule électro-magnétique de M. Garnier fils 363
Horloges électriques de M. Lasseau 365
Nouvelle pendule à sonnerie de M. Robert-Houdin 370
Pendule électrique servant de contrôleur et de distributeur de courants de M. Robert-Houdin 374
Horloge de M. Calland 376
Nouveau compteur de M. Breguet 378
Transmission de l'heure dans les ports. — Système de M. Trève ... 379
Nouveau régulateur des horloges de M. Breguet 381
Système de distribution électrique de l'heure de M. Liais 384
Nouveaux perfectionnements apportés aux régulateurs électro-solaires de M. Th. Du Moncel 391
Horloge électro-solaire de M. Regnard 394
Pendule magnéto-électrique de M. H.-J. de Kerikuff 398

VI

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AUX APPAREILS D'OBSERVATION ET DE PRÉCISION.

Chronographes.

Appareils chrono-électriques à induction, de M. Martin de Brettes. 400
Chronographe de M. M. Digney 408
— de l'usine hydraulique de Caen 408

Enregistreurs météorologiques.

Enregistreurs de M. Regnard 413
— de M. Montigny 520
Barométrographe de M. Hardy 422
Seismographe de M. Palmieri 424
Anémographe électro-mécanique de M. Th. Du Moncel 426
Traducteur électrique des courbes anémométriques 434

Enregistreurs électriques divers.

Enregistreur électro-physiologique de M. Boëck 437
— des mouvements de flexion des ponts en tôle, de M. Marqfoy 442

Perfectionnements nouveaux apportés au mesureur électrique à distance par M. Th. Du Moncel..... 448
Nouveau système de mesureur électrique..... 455
Galvanométrographe de M. Regnard..... 459

Applications électro-scientifiques diverses.

Système d'appareil pour puiser de l'eau de mer à différentes profondeurs, de M. Monclar..... 460
Application de l'électricité aux recherches à faire au sein des mers par M. Monclar..... 461
Enregistration de la vitesse des courants sous-marins dans le Bosphore..... 465
Détermination électrique des différences de longitude..... 466
Mesure des températures au-dessous du sol, dans l'air à l'intérieur des végétaux et des animaux au moyen d'appareils thermo-électriques..... 467

VII

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Emploi économique de la lumière électrique..... 470
Progrès réalisés dans la production de la lumière électrique..... 481
Régulateur de MM. Duboscq et Marçais..... 485
— de M. Pascal de Lyon..... 487
— de M. Harisson..... 488
— pour la lumière électrique des machines d'induction.. 490
— de M. V. Serrin..... 492
— de M. Regnard..... 500
Fractionnement de la lumière électrique..... 501
Expériences nouvelles de lumière électrique..... 503
Applications de la lumière électrique..... 507
Bouées lumineuses de M. Harisson..... 515

VIII

APPLICATIONS INDUSTRIELLES ET ÉCONOMIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

Perfectionnements apportés aux métiers de tissage électrique..... 516
Application de l'électricité à la filature..... 518
Appareil pour maintenir automatiquement le niveau de l'eau constant dans les chaudières des machines à vapeur..... 518

Flotteur magnétique des chaudières des machines à vapeur..... 522
Flotteur électrique de l'usine hydraulique de Caen..... 524
Embrayeur électrique pour les treuils des puits profonds..... 526
Application de l'embrayeur électrique de M. Achard aux gouvernails des navires..... 531
Perfectionnements nouveaux apportés au régulateur électro-automatique de la température de M. Th. Du Moncel..... 532
Calendrier électrique de M. Royer..... 534
Memento ou aide-mémoire électrique de M. Th. Du Moncel..... 537
Nouveau transmetteur des sonneries domestiques de M. de Vigand. 542
Système de sonneries d'appel pour les établissements agricols et industriels..... 544
Loch électrique..... 548
Régulateur des courants électriques de M. Regnard..... 549
Métronome électrique..... 551
Harmonica électrique de M. Petrina..... 553
Application de l'électricité au tirage des mines..... 553
Emploi de la lumière électrique pour l'éclairage des fils de repère dans les lunettes..... 561
Application de l'étincelle électrique à la sûreté des galeries de mines. — Système de M. Jeandel..... 562
Application de l'étincelle électrique à la sûreté des galeries de mines. — Système de M. Paul Thenard..... 563
Électro-moteur de M. Allan..... 569
— de M. Roussilhe..... 571
— de MM. Pellis et Henry..... 574
Réactions d'induction produites par les électro-moteurs..... 575
Quelques applications industrielles et économiques de la télégraphie électrique..... 577
Application à la pêche du hareng..... 577
— en cas d'inondations..... 577
— pour les travaux sous-marins..... 578
— pour la transmission des observations météorologiques. 579

APPENDICES.

Pile de MM. Fonvielle et Humbert..... 581
Pile de M. Callaud..... 582
Vitesse de saturation magnétiques..... 584
Réélectromètre de M. Marianini..... 584

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7.

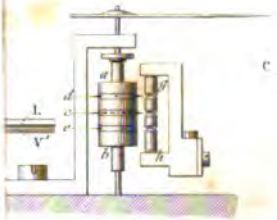


Fig. 4.

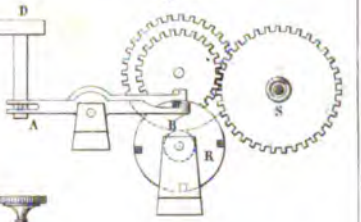


Fig. 5.

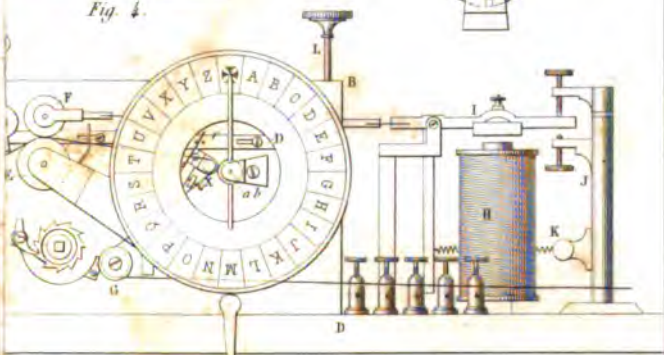


Fig. 3.

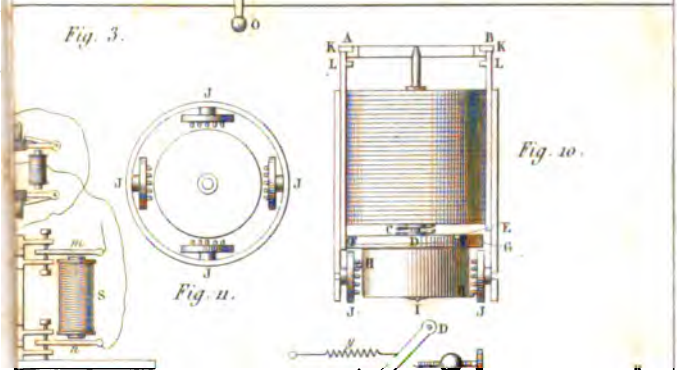


Fig. 11.

Fig. 10.

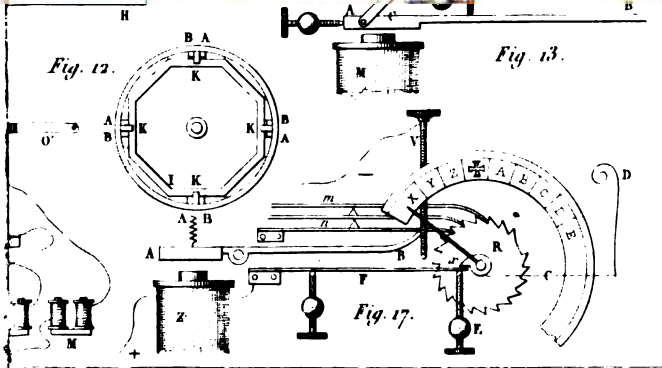


Fig. 12.

Fig. 13.

Fig. 17.

Dulac sc.

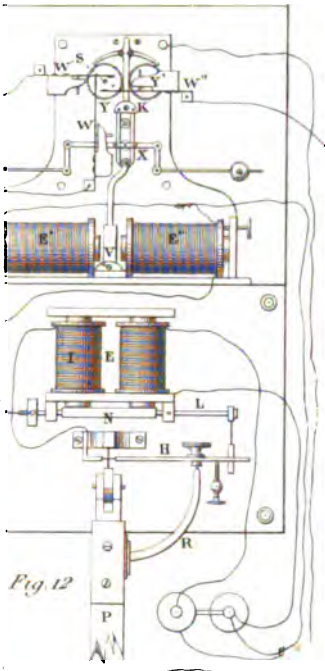


Fig. 12

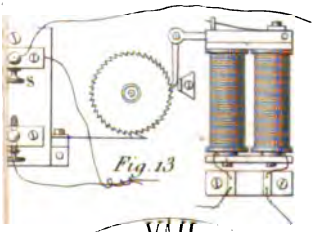


Fig. 13

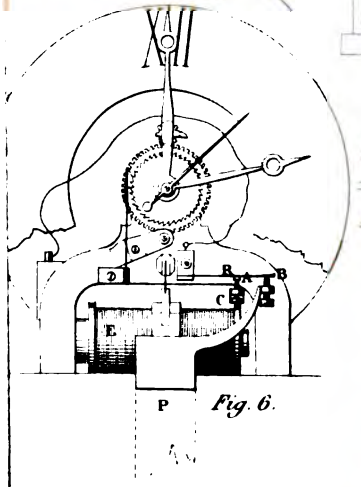


Fig. 6.

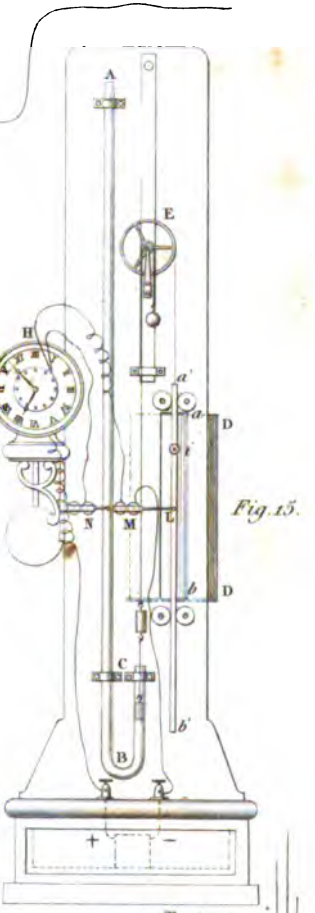


Fig. 15.

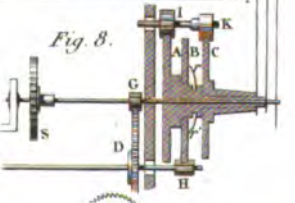


Fig. 8.

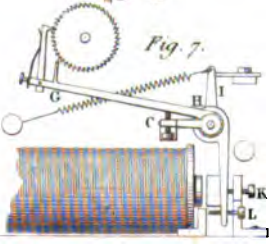
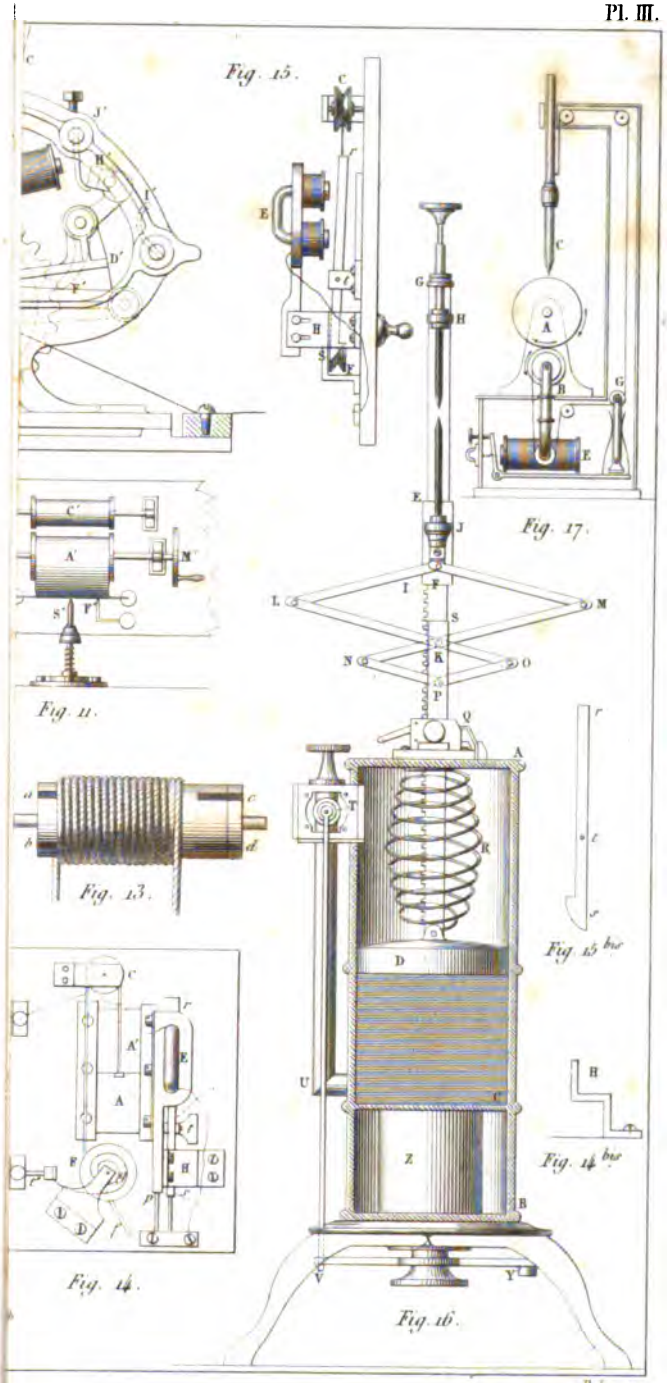


Fig. 7.

Dulos sc.



Dalas sc.

$\frac{3}{3}$